

В. К. ЛАБУТИН

КНИГА РАДИОМАСТЕРА

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

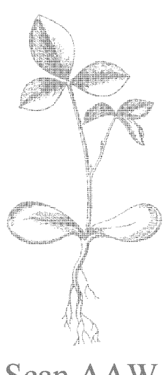
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

ВЫПУСК 415

В. К. ЛАБУТИН

КНИГА РАДИОМАСТЕРА

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1961 ЛЕНИНГРАД

Книга составлена в виде учебного и справочного пособия для радиомастеров ремонтных мастерских и содержит принципиальные сведения по установке, ремонту, налаживанию и испытанию радиовещательных и телевизионных приемников и усилительных устройств. Она содержит также важнейшие сведения по математике, черчению, электрорадиотехническим расчетам, электротехническим материалам, слесарному делу и по организации радиоремонтных мастерских. Теоретические сведения изложены в ней в тесной связи с практикой.

Книга рассчитана на радиомастеров, в том числе сельских, а также на широкий круг радиолюбителей.

Лабутин Вадим Константинович

КНИГА РАДИОМАСТЕРА

М.-Л., Госэнергоиздат, 1961, 228 стр., с рис. 6Ф2.12

Редактор *Ю. Н. Пленкин*

Технический редактор *О. С. Житникова*

Сдано в производство 21/III 1961 г. Подписано к печати 14/VII 1961 г.
М-08422 Формат $84 \times 108^1/_{16}$ Печ. л. прив. 23,37. Бум. л. 7,13
Уч.-изд. л. 32,9 Тираж 100000 (1 завод 50000). Цена 1 р. 47 к. Заказ 526

Типография № 6 УПП Ленсовнархоза, Ленинград, ул. Моисеенко, 10

ПРЕДИСЛОВИЕ

Заботы Партии и Правительства о неуклонном повышении культурного уровня и благосостояния советского народа наряду с успешным выполнением планов развития народного хозяйства ведут к непрерывному росту радиовещательной сети нашей страны. В ряде районов завершена сплошная радиофикация, из года в год расширяется ассортимент радиоприемников, выпускаемых нашей промышленностью.

Вместе с увеличением производства радиоаппаратуры появляется потребность в расширении сети радиоремонтных ателье и мастерских, в повышении качества их работы. Почетную роль в подготовке кадров для этих мастерских играют технические и ремесленные училища, но значительное количество ремонтников или, как принято их называть, радиомастеров выходит из среды радиолюбителей, не получивших специального образования.

На последнюю категорию лиц в основном и рассчитана данная книга. В ней собраны важнейшие сведения по ряду отраслей техники, сочетание которых составляет основу практической деятельности радиомастера.

В книге обобщены многообразные знания, которыми должен располагать квалифицированный радиомастер, начиная от элементарных приемов пользования рабочим инструментом и кончая обнаружением и устранением повреждений в радиоприборах, монтажом радиоустройств и т. д.

Сведения, необходимые для выполнения такого круга задач, не могут быть представлены в виде какого-то перечня исчерпывающих рецептов, который давал бы ответы на любые вопросы, возникающие в повседневной практической работе радиомастера. Только умение радиомастера самостоятельно ориентироваться в принципах работы радиоаппаратуры может указать ему наикратчайший путь к выявлению и устранению неисправностей, к которому следует прибегнуть в каждом конкретном случае. Поэтому в настоящей книге нет готовых рецептов по ремонту того или иного типа приемников, нет и подробного описания всевозможных дефектов, которые могут встретиться в радиоаппаратуре. Но она содержит значительное количество принципиальных сведений, усвоение которых даст возможность сознательно производить ремонт радиоприборов независимо от их схемы.

Методической особенностью изложения является представление теории в тесной связи с ремонтной практикой, пояснение всякого теоретического положения и формулы примерами из практики.

Несмотря на то, что каждая глава книги представляет законченное изложение самостоятельного раздела, выбранная последовательность их определена как соподчиненностью самих разделов, так и степенью использования сообщенных раньше сведений. Поэтому рекомендуется при освоении материала книги не нарушать принятой в ней последовательности.

При подготовке настоящего, второго издания материал книги подвергся серьезной переработке.

Книга пополнена материалами, отражающими прогресс радиоприемной техники, имевший место за истекшие со времени первого издания годы. Сюда относятся сведения по УКВ ЧМ тракту радиовещательных приемников, по новым схемам низкочастотных усилителей, по новым радиодеталям (в том числе полупроводниковым приборам) и материалам. Приведены в соответствие с новыми ГОСТами изложение правил технического черчения и соответствующие рисунки.

Учитывая общий рост технических знаний широких кругов радиолюбителей и радиомастеров, связанный с развитием политехнического обучения, расширением сети технических училищ и дальнейшим распространением радиолюбительства в нашей стране, автор счел возможным повысить уровень изложения некоторых вопросов, особенно в гл. 3, 4 и 11.

В настоящем издании введен раздел, посвященный важнейшим металлорежущим станкам, расширено изложение вопросов, связанных с устранением помех радиоприему, монтажом радиоаппаратуры, обнаружением неисправностей и настройкой колебательных контуров.

Кроме того, учитывая широкое развитие телевизионной сети, добавлена специальная глава, посвященная вопросам установки и мелкого ремонта телевизионных приемников. Эта глава не претендует на полноту изложения вопросов ремонта телевизоров (такая тема достойна отдельной книги) и призвана помочь радиомастеру в освоении работ, связанных с установкой и мелким (главным образом на дому) ремонтом телевизионных приемников.

Автор пользуется случаем поблагодарить всех читателей первого издания книги и редакцию журнала «Радио», высказавших свои замечания и пожелания, которые он постарался учесть при подготовке второго издания.

В. Лабутин

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ МАТЕМАТИКИ

1-1. Меры точности

Приближенные числа. Все числа, с которыми приходится встречаться радиомастеру в его повседневной практике, исключая случаи подсчета количества предметов, являются приближенными. Это значит, что называемое или записываемое число всегда несколько отличается от действительного значения той величины, которую хотят описать с помощью этого числа. Если число появилось в результате проведения измерения, то оно несет в себе погрешность измерительного прибора. Если число фигурирует в задании на работу, то хотя по своей природе оно может быть точным, но реализовать его удается лишь с определенным допуском из-за несовершенства инструмента.

Важнейшим условием быстрого и успешного выполнения работы является правильная оценка необходимой точности. Низкая точность в соблюдении заданных величин и размеров или при измерениях не позволяет достичь желаемых результатов. Погоня за неоправданно высокой точностью приводит к необходимости применять дорогостоящие инструменты и приборы, вкладывать значительно больше труда и затягивает выполнение работы.

При употреблении приближенных чисел пользуются понятием «верные знаки». Это первые отличные от нуля цифры, которые еще совпадают с действительным значением описываемого числа. Так например, если сопротивление имеет величину 81 528,4 *ом*, то с различным числом верных знаков его можно описать следующими округленными числами:

81 528 *ом* — с точностью до пятого знака,
81 530 *ом* — с точностью до четвертого знака,
81 500 *ом* — с точностью до третьего знака,
82 000 *ом* — с точностью до второго знака.

При таком округлении последнюю сохраняемую цифру увеличивают на единицу, если следующая за ней отбрасываемая цифра больше 4. Если отбрасывается всего лишь одна цифра 5, то последнюю сохраняемую цифру увеличивают на единицу лишь при условии, что она была нечетной.

Для десятичных дробей действуют те же самые правила. Нужно только помнить, что нули, стоящие впереди значащих цифр, в расчет точности числа не принимаются. Так, например, число 0,082 является приближенным с точностью до второго знака. Кстати, 0,082 *Мом* = = 82 000 *ом*.

Очень часто приближенные числа записывают в форме произведения числа, составленного только из верных знаков (без нулей), на десятку в соответствующей степени, например, $82 \cdot 10^3$ или $82 \cdot 10^{-3}$. При оперировании с такими числами следует помнить, что показатель степени десятки указывает, на сколько знаков правее (положительный показатель) или левее (отрицательный) находится запятая в исходном числе.

При вычислениях с приближенными числами в ответе может появиться число с большим количеством отличных от нуля цифр, чем исходные, например, $678 \cdot 13 = 8\,814$. Однако верными знаками в данном ответе являются только первые две цифры, так как одно из исходных чисел имело лишь два верных знака. Поэтому результат вычисления надо сразу же округлить до 8800. Аналогично $108 : 25 = 4{,}32$ и требует округления до 4,3. При сложении и вычитании верные цифры появляются только в тех разрядах, которые во всех исходных числах выражены верными знаками:

$$\begin{array}{r} 2\,400 \\ +\;\;180 \\ 83 \\ \hline 2\,663 \approx 2\,700 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 4\,800 \\ -\;3\,920 \\ \hline 880 \approx 900 \end{array}$$

В примере на вычитание, где в ответе остался лишь один верный знак, несмотря на то, что уменьшаемое содержит два верных знака, а вычитаемое даже три, проявился очень важный для практики случай потери точности искомой величины при определении ее через разность двух других близких по значениям величин. При слесарно-механических работах и при проведении измерений надо всячески избегать определения малой величины (размера), в форме разности двух больших чисел, так как окончательная точность измерения при этом может резко снизиться.

Погрешность и допуск. Мерой отклонения измеренного приближенного значения от действительной величины является погрешность. Мерой допустимого отклонения от заданной величины при выполнении работы является допуск.

Различают абсолютные и относительные погрешности и допуски.

Абсолютная погрешность или допуск — это разность между точным и приближенным значениями. Абсолютные погрешности и допуски имеют ту же размерность, что и определяемая ими величина, например, 8 *пф* ± 2 *пф*. Эта запись означает, что действительное значение емкости может лежать в пределах от 8 — 2 = 6 *пф* до 8 + 2 = = 10 *пф*. Для сопрягаемых размеров часто задают односторонний допуск, например, $20^{+0,3}$ *мм*. Это означает, что действительный размер должен находиться в пределах 20÷20,3 *мм*.

Относительная погрешность или допуск — это отношение абсолютной погрешности или допуска к номинальному значению. Относительные погрешности и допуски — величины безразмерные, и их обычно выражают в процентах. Емкость 8 ± 2 *пф* с помощью относительного

допуска можно записать в форме 8 *пф* $\pm$ 25%, ибо $\frac{2}{8}\cdot 100 = 25$.

Типичная задача состоит в нахождении предельных значений по допуску, заданному в процентах.

Пример. Для гетеродина приемника разрешается уход частоты вследствие прогрева не более 1% за 5 *мин*. В каких пределах должна быть частота гетеродина через 5 *мин*, если он был настроен на частоту 1200 *кгц*?

1% — это 0,01, значит разрешается абсолютный уход частоты гетеродина на $1200\cdot 0{,}01 = 12$ *кгц*. Таким образом через 5 *мин* частота гетеродина может оказаться в пределах 1200 *кгц* $\pm$ 12 *кгц* или иначе 1188÷1212 *кгц*.

1-2. Формулы и уравнения

Формулы — это закономерные математические соотношения между определенными величинами, выраженные в наиболее общем виде с помощью букв и математических символов. Например, площадь прямоугольника всегда равна произведению размеров двух соседних его сторон:

$$S = a\cdot b,$$

где S — площадь, а a и b — стороны прямоугольника.

Смысл некоторых математических символов, употребляемых в формулах, поясняет следующая таблица.

Символ	Значение	Символ	Значение
$=$	равно	ln	логарифм натуральный
$\approx$	примерно равно	e	основание натуральных логарифмов $\approx 2{,}72$
$\neq$	не равно	π	отношение длины окружности к диаметру $\approx 3{,}14$
$>$	больше	sin	синус
$<$	меньше	cos	косинус
$\geqslant$	больше или равно	tg	тангенс
$\leqslant$	меньше или равно	arc sin	угол, синус которого равен. . .
$\gg$	много больше	arc cos	угол, косинус которого равен. . .
$\ll$	много меньше	arc tg	угол, тангенс которого равен. . .
÷	от — до		
$\to$	стремится к. . .		
∞	бесконечность		
Σ	сумма		
i или j	мнимая единица ($\sqrt{-1}$)		
Δ	малое приращение		
$\lvert a \rvert$	абсолютное значение (модуль) величины a		
lg	логарифм десятичный		

Правила действия с отрицательными числами и дробями. Ниже приведены формулы, выражающие основные правила действий с отрицательными числами и с дробями. В этих формулах буквами a, b, c, d обозначены положительные числа, символами $(-p)$, $(-q)$ — отрицательные, а символами $|p|$, $|q|$ — абсолютные значения этих отрицательных величин. Если, например, $(-p) = -8$, то $|p| = 8$.

$$a + (-p) = a - |p|; \quad a - (-p) = a + |p|;$$

$$(-p) + a = a - |p|; \quad (-p) - a = -(a + |p|);$$

$$(-p) + (-q) = -(|p| + |q|); \quad (-p) - (-q) = |q| - |p|;$$

$$a(-p) = -a|p|; \quad \frac{a}{(-p)} = -\frac{a}{|p|}$$

$$(-p)\cdot a = -a|p|; \quad \frac{(-p)}{a} = -\frac{|p|}{a};$$

$$(-p)(-q) = |p|\cdot|q|; \quad \frac{(-p)}{(-q)} = \frac{|p|}{|q|}$$

$$\frac{a\cdot c}{b\cdot c} = \frac{a}{b}; \quad \frac{a}{b} : c = \frac{a}{bc};$$

$$\frac{a}{b}\cdot c = \frac{ac}{b}; \quad c : \frac{a}{b} = c\,\frac{b}{a} = \frac{bc}{a};$$

$$\frac{a}{b}\cdot\frac{c}{d} = \frac{ac}{bd}; \quad \frac{a}{b} : \frac{c}{d} = \frac{a}{b}\cdot\frac{d}{c} = \frac{ad}{bc};$$

$$\frac{a}{b} + \frac{c}{d} = \frac{ad + bc}{bd}; \quad \frac{a}{b} - \frac{c}{d} = \frac{ad - bc}{bd}.$$

Степени, корни и логарифмы. Результат умножения некоторого числа a самого на себя n раз называют n-й степенью числа a:

$$a^n = \overbrace{a\cdot a \ldots a}^{n \text{ раз}}.$$

Надо помнить, что

$$10^n = \overbrace{100 \ldots 0}^{n \text{ нулей}}.$$

Любое число в первой степени равно самому себе $a^1 = a$, а в нулевой степени — единице ($5^0 = 1$; $2^0 = 1$ и вообще $a^0 = 1$).

Наряду с положительными степенями широко употребляются отрицательные степени, например, 10^{-3}, a^{-n} и т. д. Смысл отрицательных степеней следующий:

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n};$$

$$10^{-n} = \overbrace{0{,}00 \ldots 01}^{n \text{ нулей}}.$$

При возведении в какую-либо степень отрицательной величины действуют те же правила, но в результате надо ставить знак минус, если показатель был нечетный. Четные степени независимо от знака у основания положительны. Например, $(-5)^2 = 25$, $(-5)^3 = -125$, $(-4)^{-1} = -\frac{1}{4}$ и т. д.

Дробный показатель степени вида $\frac{1}{n}$ означает действие обратное возведению в степень: извлечение корня n-й степени:

$$a^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{a}.$$

Дробный показатель вида $\frac{m}{n}$ означает комбинированное действие:

$$a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^m} = \left(\sqrt[n]{a}\right)^m.$$

Из отрицательных величин извлекаются корни только целых нечетных степеней, причем ответ получается отрицательный, например, $\sqrt[3]{-64} = -4$. Корни четных степеней из отрицательных количеств могут быть представлены лишь мнимой величиной, например, $\sqrt{-9} = 3\sqrt{-1} = 3i$, где i — мнимая единица.

При решении технических задач извлечение корней можно осуществлять с помощью математических таблиц (стр. 222), содержащих вычисленные значения корней.

Основные правила действий с корнями и степенями описывают следующие формулы:

$$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2;$$
$$(a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2;$$
$$a^2 - b^2 = (a+b)(a-b);$$

$$(a\cdot b)^n = a^n b^n; \quad \sqrt[n]{ab} = \sqrt[n]{a}\sqrt[n]{b};$$

$$\left(\frac{a}{b}\right)^n = \frac{a^n}{b^n}; \quad \sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}};$$

$$a^m a^n = a^{m+n}; \quad \sqrt[m]{a}\sqrt[n]{a} = \sqrt[mn]{a^{m+n}};$$

$$\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}; \quad \frac{\sqrt[m]{a}}{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[mn]{a^{n-m}};$$

$$(a^m)^n = a^{m\cdot n}; \quad \sqrt[n]{\sqrt[m]{a}} = \sqrt[mn]{a}.$$

Подобно извлечению корня, логарифмирование тоже представляет собой действие, противоположное возведению в степень: отыскание показателя степени, в которую надо возвести известное основание для получения заданного исходного числа. Если например, $a^x = b$, то x является логарифмом числа b при основании a, т. е. $x = \log_a b$.

Наиболее распространены логарифмы при основаниях 10 (десятичные) и $e = 2{,}718\ldots$ (натуральные). Определение логарифмов осуществляется также при помощи таблиц.

Основные правила действий с логарифмами:

$$\lg(a\cdot b) = \lg a + \lg b;$$

$$\lg\left(\frac{a}{b}\right) = \lg a - \lg b;$$

$$\lg(a^n) = n\lg a;$$

$$\lg\left(\frac{1}{a^n}\right) = -n\lg a;$$

$$\lg\left(\sqrt[n]{a}\right) = \frac{1}{n}\lg a;$$

$$\lg\left(\sqrt[n]{a^m}\right) = \frac{m}{n}\lg a;$$

$$\ln e = 1.$$

При необходимости возвести в степень, извлечь корень или прологарифмировать многочлен (выражение, состоящее из нескольких членов, соединенных знаком + или —) необходимо сначала вычислить этот многочлен и лишь затем производить упомянутые действия, ибо

$$(a+b)^n \neq a^n + b^n,$$
$$\sqrt[n]{a+b} \neq \sqrt[n]{a} + \sqrt[n]{b},$$
$$\lg(a+b) \neq \lg a + \lg b.$$

Площади, объемы, веса. Формулы для определения площадей простейших фигур и объемов некоторых тел приведены на рис. 1-1, где применены следующие условные обозначения: S — площадь, r — радиус, h — высота, Q — полная поверхность тела, V — объем.

Площади многоугольников и неправильных фигур вычисляются путем подразделения таких фигур на треугольники и суммирования площадей всех этих составляющих фигуру треугольников.

Объем пирамиды или прямого конуса равен одной трети произведения площади основания на высоту, т. е. $V = \frac{1}{3} Sh$.

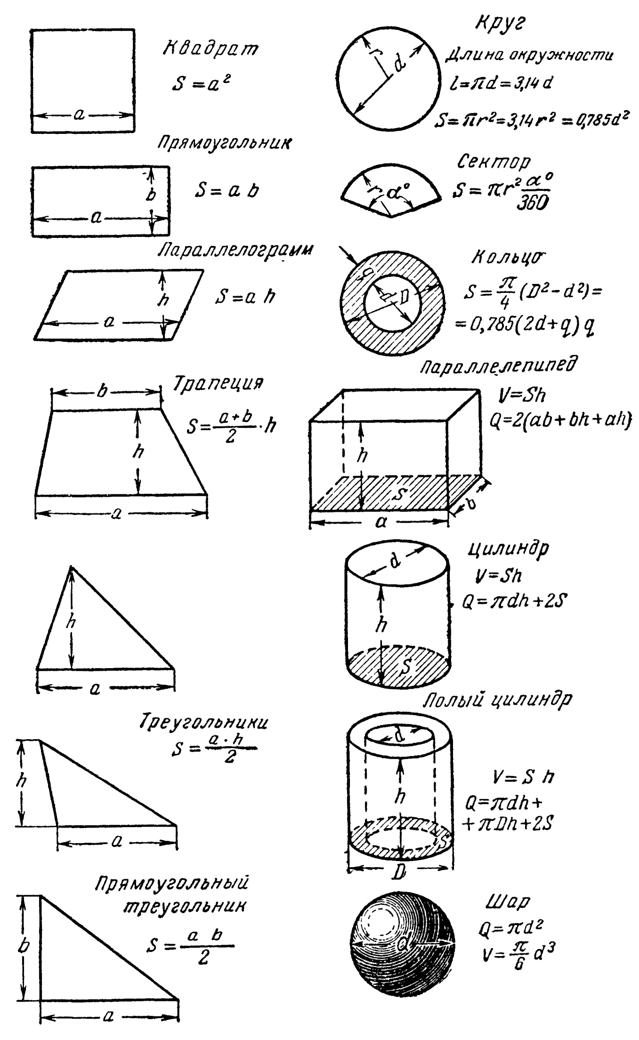


Рис. 1-1. Площади и объемы основных геометрических фигур и тел.

S — площадь; Q — полная поверхность; V — объем.

Площади и поверхности приходится рассчитывать при серебрении токоведущих элементов высокочастотных деталей, а объемы — для определения расхода материалов и калькуляции изделий.

Вес изделия определяется суммой весов всех составляющих его деталей:

$$P = \sum_{k=1}^{n} V_k \varrho_k = V_1\varrho_1 + V_2\varrho_2 + \cdots + V_n\varrho_n,$$

где P — общий вес изделия;
$V_1, V_2 \ldots V_n$ — объемы первой, второй и т. д. деталей;
$\varrho_1, \varrho_2 \ldots \varrho_n$ — удельные веса материалов соответствующих деталей.

Удельные веса наиболее употребительных материалов приведены в табл. 1-1. При расчете веса в граммах объем надо выражать в кубических сантиметрах (*см*³). Если объем выразить в кубических дециметрах (*дм*³), то вес получится в килограммах.

Таблица 1-1

Удельный вес некоторых материалов

Материал	Удельный вес, *г/см*³	Материал	Удельный вес, *г/см*³
Алюминий . . .	2,7	Стекло	2,6
Латунь	8,5	Текстолит	1,4
Медь	8,9	Фарфор	2,4
Олово	7,3	Цинк	7,1
Свинец	11,4	Эбонит	1,5
Сталь	7,9	Электрокартон . .	2
Серебро	10,5		

Пример. На пустотелый фарфоровый каркас с внешним диаметром $D_k = 80$ *мм*, внутренним $d_k = 70$ *мм* и высотой $h_k = 100$ *мм* намотана катушка из $w = 30$ витков медного провода диаметром $d_п = 2$ *мм*. Определить вес всей катушки.

Определим сначала объем каркаса. Площадь основания его $S_k = 0{,}785\left(D_k^2 - d_k^2\right) = 0{,}785\ (8^2 - 7^2) = 11{,}8$ *см*². Объем $V_k = S_k h_k = 11{,}8 \cdot 10 = 118$ *см*³. Удельный вес фарфора составляет 2,4. Следовательно вес каркаса равен $118 \cdot 2{,}4 = 283 \approx 280$ *г*.

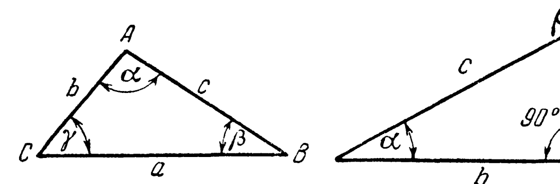


Рис. 1-2. Остроугольный треугольник.

Рис. 1-3. Прямоугольный треугольник.

Для определения веса провода нужно знать его объем и удельный вес материала. Площадь поперечного сечения провода $S_п = 0{,}785 \cdot d_п^2 = 0{,}785 \cdot 2^2 = 3{,}14$ *мм*² $= 0{,}0314$ *см*², средний диаметр каждого витка $d_в = D_k + d_п = 80 + 2 = 82$ *мм* $= 8{,}2$ *см*, длина витка $l_в = \pi d_в = 3{,}14 \cdot 8{,}2 = 25{,}7$ *см* и длина всего провода $l_п = l_в \cdot w = 25{,}7 \cdot 30 = 770$ *см*. Следовательно, объем провода $V_п = S_п\, l_п = 0{,}0314 \cdot 770 = 24{,}2$ *см*³. Так как удельный вес меди равен 8,9, то вес провода обмотки будет равен $24{,}2 \cdot 8{,}9 = 215 \approx 220$ *г*.

Полный вес катушки (каркаса и провода) таким образом составит $280 + 220 = 500$ *г*.

Важнейшие геометрические соотношения. В любом треугольнике (рис. 1-2) сумма внутренних углов равна 180°:

$$\alpha + \beta + \gamma = 180°.$$

В прямоугольном треугольнике (рис. 1-3) сумма двух острых углов равна 90°:

$$\alpha + \beta = 90° \quad (\gamma = 90°).$$

Теорема Пифагора: сумма квадратов катетов (сторон, прилежащих к прямому углу прямоугольного треугольника) равна квадрату гипотенузы (стороны, противолежащей прямому углу):

$$a^2 + b^2 = c^2,$$

откуда

$$c = \sqrt{a^2 + b^2},$$

Это соотношение часто используется в электротехнических расчетах, ибо сумма активного (R) и реактивного (X) сопротивлений, соединенных последовательно, равна тоже

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2},$$

где Z — полное сопротивление.

На совпадении этих формул основан графический метод расчета Z.

Пример. Пусть $R = 800$ *ом* и $X = 600$ *ом*. Выбирая удобный масштаб, например, 20 *ом* на 1 *мм*, строят прямоугольный треугольник с катетами $a = 800 : 20 = 40$ *мм* и $b = 600 : 20 = 30$ *мм* соответственно. Измеряют длину гипотенузы $c = 50$ *мм* и определяют полное сопротивление $Z = 50 \cdot 20 = 1000$ *ом*.

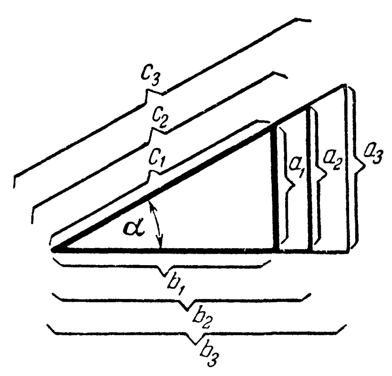


Рис. 1-4. Подобные треугольники.

Прямоугольный треугольник всегда можно построить, если известны или две стороны его или одна из сторон и один из острых углов. Если дан только один острый угол, то можно построить много подобных прямоугольных треугольников (рис. 1-4).

У подобных треугольников соответственные стороны не равны ($a_1 \neq a_2 \neq a_3$; $b_1 \neq b_2 \neq b_3$; $c_1 \neq c_2 \neq c_3$), но соотношения между размерами сторон оказываются одинаковыми, что может быть записано алгебраически с помощью пропорций, например:

$$a_1 : a_2 = b_1 : b_2.$$

Пропорциями часто пользуются при выполнении работ по разметке, при черчении, при расчете соединений однородных элементов электрической цепи. Свойства пропорции: 1) отношения первых и вторых членов равны, т. е.

$$a_1 : b_1 = a_2 : b_2;$$

2) произведения средних и крайних членов равны, т. е.

$$a_2 \cdot b_1 = a_1 \cdot b_2.$$

Тригонометрические функции. Поскольку величина одного острого угла в прямоугольном треугольнике определяет соотношения между его сторонами, часто указывают вместо угла непосредственно отношения сторон, причем употребляют специальные математические символы. В соответствии с рис. 1-3 наиболее употребительные в электрорадиотехнике тригонометрические функции имеют вид:

синус угла α $\quad \sin\alpha = \dfrac{a}{c}$;

косинус угла α $\quad \cos\alpha = \dfrac{b}{c}$;

тангенс угла α $\quad \operatorname{tg}\alpha = \dfrac{a}{b}$.

Значения тригонометрических функций предпочитают сообщать в форме уже вычисленных отношений — одним **числом** (см. приложение 3 на стр. 223).

В то время, как в прямоугольном треугольнике острый угол α может лежать в пределах от 0 до 90°, понятие тригонометрических функций распространено на любые углы: и большие 90°, и меньшие нуля (отрицательные). При этом все тригонометрические функции проявляют периодичность: значения их повторяются при увеличении угла на 360°:

$$\sin(\alpha + 360^\circ n) = \sin\alpha;$$

$$\cos(\alpha + 360^\circ n) = \cos\alpha;$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + 360^\circ n) = \operatorname{tg}\alpha,$$

где n — любое целое число (в том числе отрицательное).

Функции дополнительных углов:

$$\sin\beta = \cos\alpha;$$

$$\cos\beta = \sin\alpha;$$

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha},$$

где $\beta = 90^\circ - \alpha$.

Функции отрицательных углов:

$$\sin(-\alpha) = -\sin\alpha;$$

$$\cos(-\alpha) = \cos\alpha;$$

$$\operatorname{tg}(-\alpha) = -\operatorname{tg}\alpha.$$

Важнейшие соотношения между тригонометрическими функциями

$$\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \operatorname{tg}\alpha; \quad \sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1;$$

$$\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha; \quad \sin^2\alpha = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\cos 2\alpha;$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2\alpha - \sin^2\alpha; \quad \cos^2\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\cos 2\alpha;$$

$$\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2};$$

$$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}.$$

Уравнения с одним неизвестным. Формулы, в состав которых входят неизвестные величины, называются уравнениями. Основная задача при оперировании с уравнениями — решение их относительно неизвестных величин. Это достигается путем таких преобразований, в результате которых слева остается только одна искомая величина, а все известные собираются в правой части уравнения.

Общее правило, по которому разрешается производить необходимые преобразования, состоит в том, что производя одинаковые действия с обеими частями уравнения, мы не нарушаем условий равенства их.

Так, можно к обеим частям уравнения прибавлять (или отнимать) одинаковые величины, например:

если $x - a = b + c$,
то $x - a + a = b + c + a$,
т. е. $x = b + c + a$.

Обе части уравнения можно умножать или делить на одинаковую величину (кроме нуля!), например:

если $ax = b$,

то $\frac{ax}{a} = \frac{b}{a}$,

т. е. $x = \frac{b}{a}$.

При таких действиях общее правило проявляется внешне так, будто производится перенос отдельных членов уравнения из одной части в другую с одновременным изменением действия на обратное: слагаемые становятся вычитаемыми, сомножители — делителями, числители — знаменателями и наоборот.

Можно обе части уравнения возвести в одну и ту же степень или извлечь из них одинаковый корень, например:

если $a^2 + b^2 = x^2$,
то $\sqrt{a^2 + b^2} = x$.

Кроме того, всегда можно левую и правую части взаимно менять местами:

если $\sqrt{a^2 + b^2} = x$,
то $x = \sqrt{a^2 + b^2}$.

Разрешается одновременно изменять знаки левой и правой частей на обратные, например:

если $-x = a - b$,
то $x = b - a$

и записывать равенство между величинами, обратными обеим частям:

если $\frac{a}{b} = \frac{c}{x}$,

то $\frac{b}{a} = \frac{x}{c}$.

Примеры:

1. Из уравнения резонансной длины волны колебательного контура $\lambda = 1{,}88\sqrt{LC}$ найти необходимую емкость колебательного контура ($C = x$), если длина волны λ и индуктивность L заданы.

$$\lambda^2 = 1{,}88^2 LC;$$

$$C = \frac{\lambda^2}{1{,}88^2 L}.$$

2. Из уравнения токов в двух параллельно соединенных сопротивлениях $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ найти ток I_2, если известны I_1, R_1 и R_2.

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2};$$

$$I_2 = \frac{I_1 R_1}{R_2}.$$

3. Дано $\frac{a+b}{c} = \frac{d}{x} - e$, найти x.

$$\frac{d}{x} = \frac{a+b}{c} + e;$$

$$\frac{d}{x} = \frac{a+b+ce}{c};$$

$$\frac{x}{d} = \frac{c}{a+b+ce};$$

$$x = \frac{cd}{a+b+ce}.$$

1-3. Функции и способы их представления

Функция. Большинство величин, с которыми приходится иметь дело в технике, являются переменными величинами, могущими принимать различные значения. При этом значения, принимаемые одними величинами, обычно зависят от того, какие значения приданы другим переменным величинам. Так, например, коэффициент

усиления усилителя может быть различным в зависимости от того, на какой частоте он измерен. В этом случае и частота и коэффициент усиления должны рассматриваться как переменные величины, причем частоту можно считать независимой переменной (мы выбираем ее при измерении коэффициента усиления произвольно), а коэффициент усиления — зависимой переменной или функцией частоты.

В математике в общем виде независимую переменную (аргумент) принято обозначать символом x, а зависимую (функцию) — символом y, причем факт зависимости y от x записывают в виде

$$y = f(x),$$

который не объясняет того, как именно y зависит от x, а лишь констатирует наличие зависимости.

Аналитическое выражение функций. Представление зависимости y от x с помощью математической формулы называют аналитическим выражением функции. Если например, нас интересует величина тока I, проходящего через некоторое известное нам сопротивление R при различных значениях прикладываемого к этому сопротивлению напряжения U, то воспользовавшись законом Ома

$$I = \frac{U}{R},$$

мы можем представить зависимость $I = y$ от $U = x$ в виде:

$$y = \frac{x}{R}.$$

Постоянная в данной задаче величина R называется параметром. В другой задаче величина R может сама быть переменной, например, при определении зависимости сопротивления проводника от его длины:

$$R = \frac{\varrho l}{s}.$$

Здесь $R = y$ (функция), длина проводника $l = x$ (аргумент), а удельное сопротивление ϱ и поперечное сечение s — параметры выбранного проводника.

В свете понятия о функциях все расчетные формулы можно рассматривать как аналитические выражения функциональных зависимостей, а разрешение уравнений относительно искомой величины как отыскание структуры функции в явном виде.

Таблицы. Вторым способом представления функций являются таблицы. В таблицах приводятся непосредственно вычисленные значения функционально связанных величин.

В приложениях (стр. 222) помещены две математические таблицы, которые содержат вычисленные значения наиболее употребительных функций и служат для облегчения расчетов по многим формулам.

В таблице, приведенной на стр. 222, даны значения обратных величин $\left(\frac{1}{x}\right)$, квадратов (x^2), кубов (x^3) и квадратных корней ($\sqrt{x}$ и $\sqrt{10x}$) с точностью до третьего знака для значений аргумента (x) в пределах от 1,0 до 10,0. Если заданное число лежит за этими пределами, то его надо представить в форме произведения $x \cdot 10^n$, где x будет лежать в пределах $1{,}0 \div 10$ и воспользоваться правилом, указанным в последней строке таблицы. Корень квадратный при четных степенях десятки определяют по столбцу $\sqrt{x}$, а при нечетных — по столбцу $\sqrt{10x}$.

Примеры:

1. Вычислить дробь $\frac{1}{18}$.

Представим 18 как $1{,}8 \cdot 10^1$. При этом $x = 1{,}8$; $n = 1$. По таблице находим $\frac{1}{x} = 0{,}556$ и десятичный множитель 10^{-1}. Таким образом $\frac{1}{18} = 0{,}556 \cdot 10^{-1} = 0{,}0556$.

2. Найти $0{,}062^2$.

Представим аргумент как $6{,}2 \cdot 10^{-2}$, т. е. $x = 6{,}2$ и $n = -2$. Тогда $x^2 = 38{,}4$ и множитель $10^{2n} = 10^{-4}$, т. е. $0{,}062^2 = 38{,}4 \cdot 10^{-4} = 0{,}00384$.

3. Определить $\sqrt{3{,}5}$, $\sqrt{35}$ и $\sqrt{0{,}35}$.

Для $x = 3{,}5$ находим $\sqrt{x} = 1{,}87$. В следующих двух примерах подкоренные количества можно записать в форме $10 \cdot 3{,}5$ и $3{,}5 \cdot 10^{-1}$ соответственно. Тогда для второго примера ответ найдем в столбце $\sqrt{10x}$ как 5,92, а для третьего примера, поскольку степень десятки нечетная (—1), ответ берем из этого же столбца (5,92), но добавляем сомножитель $10^{\frac{n-1}{2}} = 10^{\frac{-1-1}{2}} = 10^{-1}$, т. е. $\sqrt{0{,}35} = 5{,}92 \cdot 10^{-1} = 0{,}592$.

4. Найти 420^3.

Представим 420 как $4{,}2 \cdot 10^2$. По столбцу x^3 находим $4{,}2^3 = 74{,}1$ и множитель $10^{3n} = 10^{3 \cdot 2} = 10^6$, т. е. $420^3 = 74{,}1 \cdot 10^6 = 74\,100\,000$.

В таблице на стр. 223 приведены значения тригонометрических функций ($\sin\alpha$, $\cos\alpha$, $\operatorname{tg}\alpha$, $\operatorname{ctg}\alpha$) заданного угла. Значения заданного угла в пределах от 0 до 45° помещены в первом столбце таблицы, обозначенном сверху буквой α, а значения от 45 до 90° — в последнем столбце, обозначенном снизу буквой α. Внутренние четыре столбца чисел, содержащие значения искомых функций, обозначены сверху знаками $\sin\alpha$, $\cos\alpha$, $\operatorname{tg}\alpha$, $\operatorname{ctg}\alpha$, а снизу — соответственно $\cos\alpha$, $\sin\alpha$, $\operatorname{ctg}\alpha$, $\operatorname{tg}\alpha$. Если заданный угол меньше 45°, то для определения искомой функции пользуются тем столбцом, вверху которого поставлено обозначение этой функции, если же заданный угол больше 45°, то для отыскания значения неизвестной функции пользуются столбцом, внизу которого поставлено ее обозначение.

Пример. Найти $\operatorname{tg} 35°$.

Для $\operatorname{tg} 35°$ отыскиваем в левом столбце угол 35° и на этой же строке в столбце, обозначенном сверху символом $\operatorname{tg}\alpha$, читаем 0,700. Значит $\operatorname{tg} 35° = 0{,}700$.

Если по известному значению тригонометрической функции требуется определить угол, то заданное число отыскивается внутри таблицы в отведенном для соответствующей функции столбце, а значение искомой величины (угла) читают на той же строке в столбце α.

Пример. Дано $\operatorname{tg}\alpha = 2{,}57$, найти α. Это же задание может быть сформулировано иначе: найти $\operatorname{arc\,tg} 2{,}57$.

Среди значений тангенса нет числа 2,57. Тогда находим в таблице ближайшие числа 2,48 и 2,60 и останавливаемся на числе 2,60, как наиболее близком к заданному. Так как это число помещено в столбце, обозначенном символом $\operatorname{tg}\alpha$ снизу, то величину искомого угла отыскиваем в правом столбце α среди значений 45—90°: $\alpha = 69°$.

Интерполяция. Встречающиеся на практике таблицы не всегда содержат достаточное количество различных значений заданных величин. Например, в табл. 1-2 режимов лампы 6П1П указаны только три значения напряжения на аноде (315, 250 и 180 *в*), в соответствии с которыми только и могут быть выбраны прочие величины. А каковы будут эти величины при напряжении, скажем 220 *в*? Это можно определить методом интерполяции.

Наиболее простой и удовлетворяющей требованиям практической точности является линейная интерполяция. При этом прежде всего определяют, между какими двумя помещенными в таблице значениями находится значение заданной величины.

Таблица 1-2

Режимы лучевого тетрода 6П1П

Величины	Режимы		
Напряжение на аноде, *в*	315	250	180
Напряжение на экранирующей сетке, *в*	225	250	180
Напряжение на управляющей сетке, *в*	—13	—12,5	—8,5
Сопротивление нагрузки, *ком*	8,5	5	5,5
Выходная мощность, *ва*	5,5	4,5	2

В нашем случае напряжение на аноде 220 *в* находится между напряжениями 250 и 180 *в*. Поэтому выписываем из табл. 1-2 эти ближайшие два режима и определяем разности между соответствующими им значениями каждой величины:

Величины	Режимы		Разность
Напряжение на аноде, *в*	250	180	70
Напряжение на экранирующей сетке, *в*	250	180	70
Напряжение на управляющей сетке, *в*	—12,5	—8,5	—4
Сопротивление нагрузки, *ком*	5	5,5	—0,5
Выходная мощность, *ва*	4,5	2	2,5

Полученные разности показывают, насколько увеличивается значение каждой величины при увеличении анодного напряжения от 180 до 250 *в*, т. е. на 70 *в*. У нас же задано анодное напряжение 220 *в*, что больше 180 *в* лишь на 40 *в*, т. е. на $\frac{40}{70}=\frac{4}{7}$ той разности, которую дают ближайшие два табличных значения. Линейная интерполяция предполагает, что все величины в рассматриваемых пределах изменяются равномерно. Следовательно, умножив каждую разность на $\frac{4}{7}$, высчитываем поправку для соответствующих величин:

$70\cdot\frac{4}{7}=40$ *в* — поправка для напряжения на экранирующей сетке;

$-4\cdot\frac{4}{7}=-2{,}3$ *в* — поправка для напряжения на управляющей сетке;

$-0{,}5\cdot\frac{4}{7}\approx-0{,}3$ *ком* — поправка для сопротивления анодной нагрузки;

$2{,}5\cdot\frac{4}{7}\approx-1{,}4$ *ва* — поправка для выходной мощности.

Прибавляя эти поправки к значениям, соответствующим анодному напряжению 180 *в*, получим:

Напряжение на экранирующей сетке равно 180 + + 40 = 220 *в*;

напряжение на управляющей сетке равно —8,5 + + (—2,3) = —10,8 *в*;

сопротивление анодной нагрузки равно 5,5 + (—0,3) = = 5,2 *ком*;

выходная мощность равна 2 + 1,4 = 3,4 *ва*.

Номограммы. Если в таблицах приводятся отдельные числовые значения зависящих друг от друга величин, то в номограммах они заменяются непрерывными числовыми шкалами, чем облегчается нахождение любых промежуточных значений величин. Точность и быстрота нахождения искомой величины зависят от умения читать данную шкалу. Например, на правой шкале (*f*) номограммы (рис. 1-5) промежуток между штрихами 10 и 20 разделен на две части длинным штрихом. Очевидно, что этот штрих обозначает число 15. Каждая часть 10—15 и 15—20, в свою очередь, разделена на пять частей мелкими штрихами. Отсюда определяем, что цена одного мелкого деления составляет 1, т. е. первый мелкий штрих обозначает число 11, второй 12 и т. д.

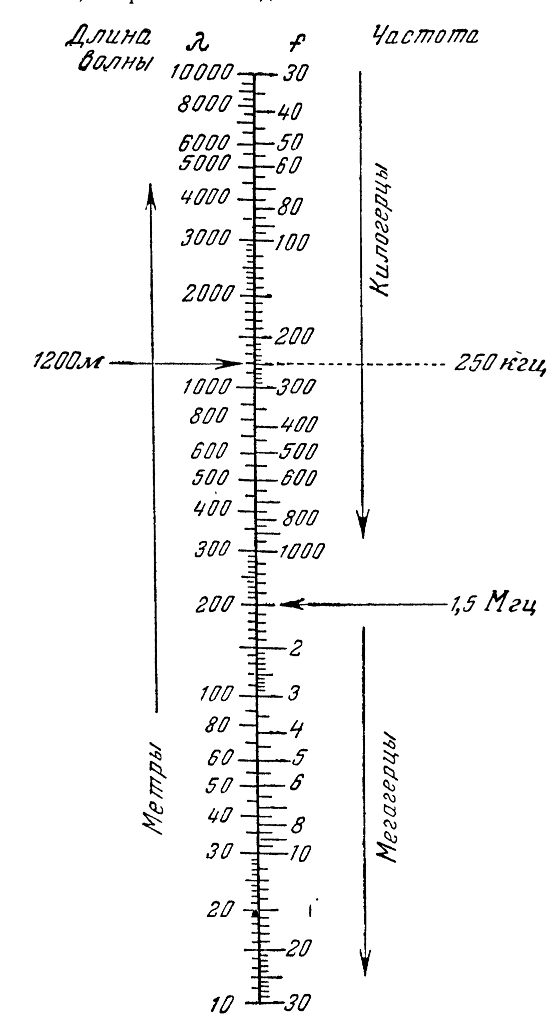


Рис. 1-5. Номограмма для определения длины волны и частоты электрических колебаний.

Путем практической тренировки глаза надо выработать навык определения промежуточных чисел, для которых на шкале не нанесены штрихи. Если, например, заданная частота равна 3,7 *Мгц*, а на шкале имеются штрихи, соответствующие числам 3,5 и 4 *Мгц*, то промежуток между этими штрихами мысленно разбивают на пять частей и, откладывая от штриха 3,5 две такие части, находят положение числа 3,7 *Мгц*.

Наиболее просты номограммы, служащие для определения одной неизвестной величины по одной заданной величине. Они представляют две числовые шкалы, нанесенные по обеим сторонам одной линии. Такая номограмма и представлена на рис. 1-5. Левая шкала выражает

значения длины волны λ в *м*, правая — соответствующие значения частоты f колебаний.

Пример. Требуется определить частоту, соответствующую длине волны 1200 *м*.

Находим на левой шкале точку, соответствующую 1200 *м*. На правой шкале число, соответствующее этой точке, будет 250. Это и есть искомое значение частоты (в *кгц*).

Номограммы, связывающие более двух величин, соответственно имеют большее количество шкал, которые вычерчиваются в определенных масштабах и занимают определенное взаимное расположение, например, номограмма, изображенная на рис. 1-6. Для расчетов по таким номограммам надо иметь прямую линейку (желательно прозрачную).

На двух шкалах, выражающих значения известных величин, находят точки, обозначающие заданные значения этих величин (например, 20 *в* и 100 *ом* на рис. 1-6). К найденным точкам прикладывают прямой бортик линейки. В точке пересечения линейкой третьей шкалы читают искомое значение величины, выражаемой этой третьей шкалой (0,2 *а*).

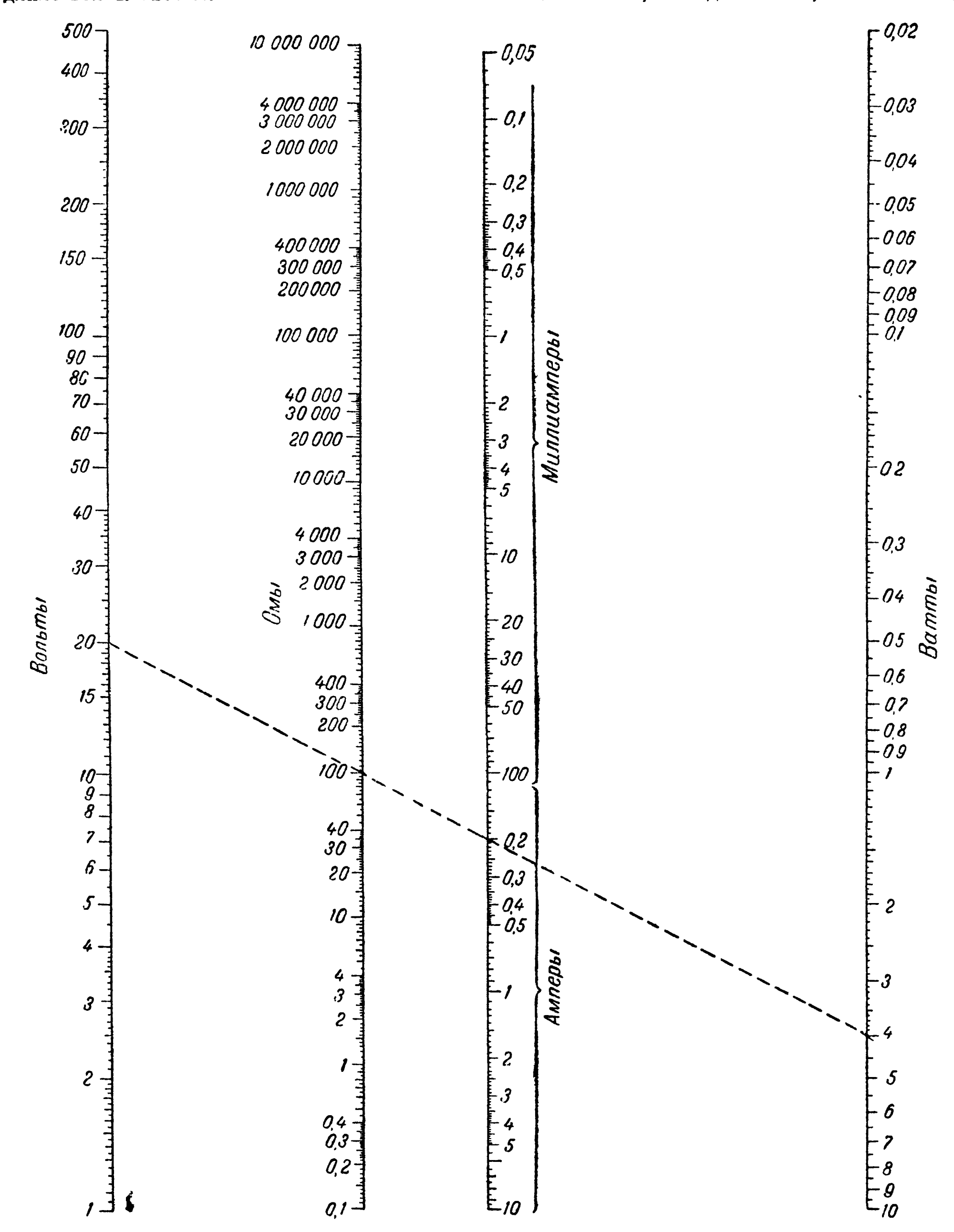


Рис. 1-6. Номограмма для определения U, R, I и P.

Пример. Определить необходимую величину сопротивления сеточного смещения, если катодный ток лампы равен 5 *ма*, а напряжение смещения должно быть равно 12,5 *в*.

На шкале U (напряжение) находим точку, соответствующую 12,5 *в*, а на шкале I (ток) — точку, соответствующую 5 *ма*. Накладывая линейку так, чтобы ее бортик пересекал шкалы U и I в найденных точках, в точке пересечения линейкой шкалы R читаем ответ (2500 *ом*).

Номограмма на рис. 1-6 содержит также шкалу мощностей P. Указанным уже способом определяется любая из четырех величин (U, R, I, P) по значениям любых других двух величин.

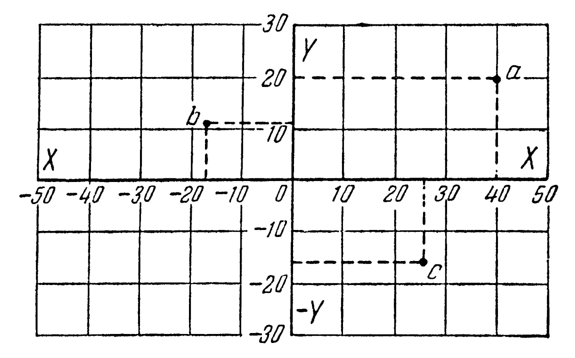


Рис. 1-7. Координатные оси и координатная сетка.

Графики. Графики, как и таблицы и номограммы, служат для непосредственного определения значения неизвестной величины по заданному значению другой, известной, величины. Кроме того, графики дают наглядное представление о характере и смысле зависимости между связанными величинами.

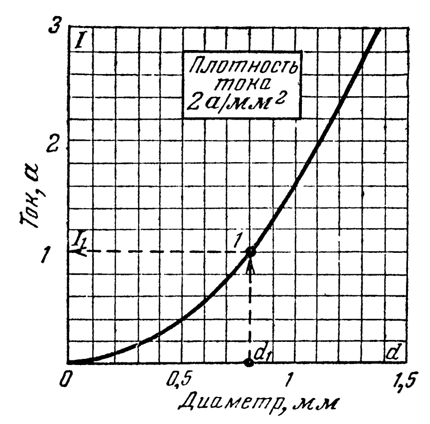


Рис. 1-8. График допустимой нагрузки провода током.

Основой всякого графика являются координатные оси, которые обычно представляют две пересекающиеся под прямым углом, т. е. взаимно перпендикулярные, шкалы чисел: горизонтальную (ось X или *ось абсцисс*) и вертикальную (ось Y или *ось ординат*); на осях строится координатная сетка (рис. 1-7). Любая точка в пределах координатной сетки может быть обозначена определенным и при том только одним сочетанием числа, взятого на оси X, с числом, взятым на оси Y; например, точка a на рис. 1-7 определяется числами $x = 40$ и $y = 20$, точка b — числами $x = -17$ и $y = 11$, точка c — числами $x = 26$, $y = -16$.

Нанося в пределах координатной сетки точки, связывающие соответствующие значения аргумента и функции, и соединяя затем эти точки отрезками прямых или плавной кривой линией, можно получить график этой функции.

На рис. 1-8 представлен в качестве примера график допустимой нагрузки током медного провода. Он может быть применен для определения наибольшего допустимого тока в проводе, диаметр которого известен.

Пример. Диаметр провода d равен 0,8 *мм*. Определить наибольший допустимый ток I в нем.

На горизонтальной шкале d находим точку d_1, соответствующую диаметру провода 0,8 *мм*, и сносим вдоль вертикальных линий координатной сетки положение этой точки на линию графика (точка *1*). Затем сносим вдоль горизонтальных линий координатной сетки положение точки *1* с графика на вертикальную шкалу I и получаем на этой шкале точку I_1, которая соответствует току 1 *а*. Это и есть наибольший допустимый ток в проводе диаметром 0,8 *мм*.

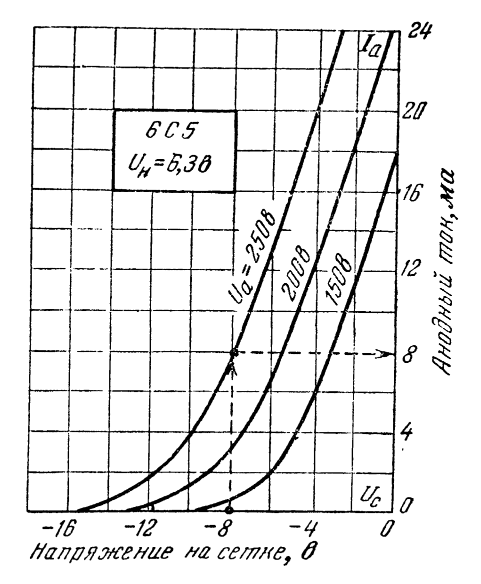


Рис. 1-9. Семейство анодно-сеточных характеристик триода.

Этот же график можно использовать для решения обратной задачи (для нахождения диаметра провода по заданному току).

Часто при графике указывают дополнительные условия (параметры), без соблюдения которых данный график будет не верен. Параметром графика на рис. 1-8 является плотность тока 2 *а* на каждый $мм^2$ сечения провода. Такая плотность тока допускается для проводов обмоток трансформаторов. В проволочных сопротивлениях, например, допускается большая плотность тока и для их расчета нужен другой график.

Для того, чтобы не вычерчивать большого числа графиков одних и тех же функций при различных значениях параметра, часто прибегают к семействам графиков, в которых для различных значений параметра приводится несколько графиков в пределах одной координатной сетки. Подобное семейство представлено, например, на рис. 1-9, на котором изображено семейство анодно-сеточных характеристик трехэлектродной лампы. Оно показывает зависимость анодного тока от напряжения на управляющей сетке при трех различных значениях напряжения на аноде лампы ($U_а$ = 150 *в*, 200 *в* и 250 *в*). Кроме того, неизменным дополнительным условием для всех характеристик семейства является напряжение накала лампы $U_н$ = 6,3 *в*.

Принцип чтения системы графиков поясняет следующий пример.

Пример. Определить анодный ток лампы при напряжении на аноде 250 *в* и на управляющей сетке — 8 *в*.

Используя график, обозначенный $U_a = 250$ *в*, переносим точку — 8 *в* с горизонтальной шкалы на вертикальную и находим на последней значение тока 8 *ма*.

Очень часто пользуются графиками для того, чтобы наглядно представить характер зависимости одной величины от другой, причем иногда не указывают даже численных значений этих величин, оставляя оси координатной сетки «слепыми». Понять смысл такого графика — это значит уяснить, как одна величина изменяется при изменении другой.

Если кривая направляется слева вверх направо, то это значит, что выражаемая ею величина y растет с увеличением x. Чем круче поднимается линия графика при неизменном масштабе, тем быстрее увеличивается y. Если линия графика идет горизонтально, то это означает, что величина y не изменяется и на данном участке не зависит от x. Если же линия графика направляется вниз, то это значит, что с увеличением x величина y уменьшается.

Участки графиков, расположенные ниже горизонтальной оси, указывают на то, что величина y здесь имеет отрицательные значения, причем чем ниже от горизонтальной оси спускается график, тем большие отрицательные значения приобретает переменная y.

Если график состоит из повторяющихся участков кривой линии, то это свидетельствует о наличии периодической зависимости одной переменной от другой.

Все эти положения легко продемонстрировать на примерах графиков важнейших функций.

Графики важнейших функций. 1. *Постоянная величина* $y = a$ и не зависит от x. Ее график выражается прямой, параллельной оси X (рис. 1-10, *а*). Так должна

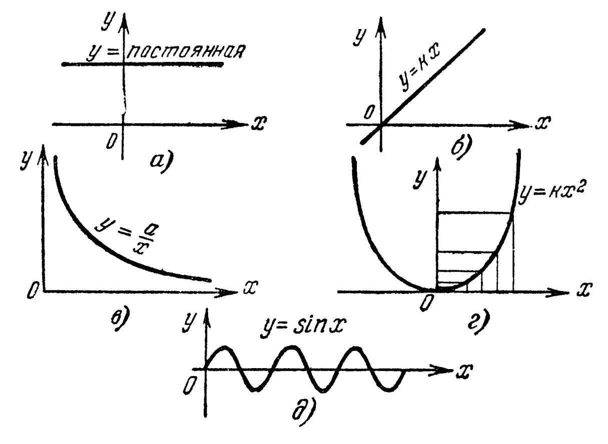


Рис. 1-10. Графики важнейших функций.

была бы выглядеть, например, идеальная частотная характеристика видеоусилителя (в пределах полосы усиления), если коэффициент усиления обозначить через y, а частоту — через x. В действительности же некоторое приближение к горизонтальной прямой удается получить лишь для определенного диапазона частот.

2. *Прямая пропорциональность* ($y = kx$). Прямая, наклонная к осям под некоторым углом и проходящая через начало координат (точку $x = 0$ и $y = 0$), является графиком прямой пропорциональности (рис. 1-10, *б*). Он показывает, что во сколько раз увеличится или уменьшится величина x, во столько же раз соответственно увеличится или уменьшится зависящая от нее прямо пропорциональная ей величина y. Именно так изображается график зависимости сопротивления провода от его длины (при неизменном материале и сечении его и при постоянной температуре).

3. *Обратная пропорциональность.* Если при увеличении переменной x другая, зависящая от нее величина y уменьшается в то же число раз $\left(y = \frac{a}{x}\right)$, то такую зависимость называют обратной пропорциональностью (рис. 1-10, *в*). График ее изображается ниспадающей кривой линией (гиперболой). Так выглядит график зависимости предельно допустимого тока коллектора транзистора от напряжения. Чем выше напряжение (x), тем меньше допустимый ток (y) и наоборот.

4. *Квадратичная зависимость.* Если величина y изменяется прямо пропорционально квадрату независимой переменной x ($y = kx^2$), то график представляет восходящую кривую линию, причем крутизна подъема ее все время увеличивается, что указывает на увеличение скорости изменения y при увеличении x (рис. 1-10, *г*). Таков, например, график электрической мощности в неизменном сопротивлении, если за x принять ток или напряжение. Он показывает, что увеличению напряжения или тока при их малых значениях соответствует небольшое приращение мощности, а при повышении напряжения или тока каждое следующее увеличение их на прежнюю величину вызывает все больший и больший прирост мощности.

5. *Периодическая функция.* На рис. 1-10, *д* приведен график зависимости y от x, при которой значения y повторяются через одинаковые интервалы приращения x. Это очень распространенная в технике зависимость, причем независимой переменной x чаще всего бывает время. Именно так, как это изображено на рис. 1-10, *д*, выглядит график напряжения в электросети переменного тока, график незатухающих колебаний в цепях генераторов высокой частоты и многие другие. Они указывают на то, что величина, отсчитываемая по вертикальной оси y, изменяется периодически, принимая через определенные одинаковые промежутки времени, равные значения. Элементарная часть графика периодической функции, повторяющаяся много раз, показывает характер изменения переменной y в течение одного периода (времени, соответствующего одному полному колебанию). Эти элементарные части в разных случаях могут изображаться различными кривыми, но для данной периодической функции все они одинаковы.

1-4. Запись и обработка результатов измерений

Запись результатов измерений. В практике ремонта и особенно испытаний радиоаппаратуры, часто приходится проводить измерения тех или иных параметров и характеристик налаживаемого прибора. Правильная, точная и наглядная запись результатов всех измерений необходима для того, чтобы на основании проведенных измерений можно было сделать верные выводы о состоянии испытанного прибора, для того, чтобы полученные результаты были понятны другому лицу, и для того, чтобы при необходимости измерения могли бы быть повторены в тех же самых условиях, в которых они проводились первоначально.

Для этого совершенно недостаточно, измеряя, например, чувствительность какого-либо приемника, записать отсчитанную с помощью генератора стандартных сигналов величину ее.

Прежде всего, должны быть зафиксированы объекты испытаний (например, радиоприемник) и вся измерительная и вспомогательная аппаратура, участвовавшая в измерении (генератор стандартных сигналов, измеритель выхода, эквивалент антенны и т. п.).

Затем надо записать или привести в соответствие все условия работы этой аппаратуры, при изменении которых результат измерений может стать иным (напряжение питающей электросети, глубина и частота модуляции, величина выходного сигнала приемника, частота, на которую настроен приемник, положения всех органов управления приемником и т. п.).

При наиболее сложных измерениях необходимо также зарисовывать схему взаимного соединения приборов.

Фиксация всех перечисленных обстоятельств полезна еще и потому, что это заставляет мастера обратить внимание на все те моменты, от которых зависит измеряемая величина, причем могут быть предотвращены многие ошибки, а само число, появляющееся в результате измерения, оказывается хорошо осмысленным.

В заключение записи должна стоять дата измерения и фамилия лица, проводившего это измерение.

Для иллюстрации сказанного приведем пример записи измерения чувствительности приемника с гнезд звукоснимателя.

Вид испытания: измерение чувствительности радиоприемника с гнезд звукоснимателя (*Зв*).

Объект испытания: приемник «Иртыш» №. . ., завод. . .

Измерительная аппаратура:
1) звуковой генератор (*ЗГ*) типа ЗГ-10, №. . .;
2) ламповый милливольтметр (*ЛВ*) типа ЛВ-9-2, №. . .;
3) измеритель выхода (*ИВ*) типа ИВ-4, №. . .

Блок-схема измерения: (рис. 1-11).

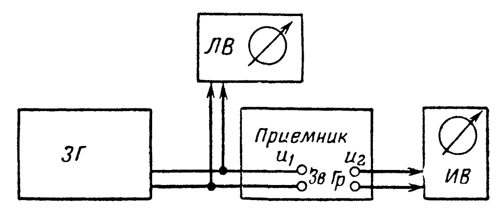


Рис. 1-11. Блок-схема измерения.

Условия испытания:
напряжение электросети 124 *в*;
частота звукового генератора, 1000 *гц*;
регулятор громкости в положении максимальной громкости;
регуляторы тембра в среднем положении;
выходное напряжение на гнездах дополнительного громкоговорителя (*Гр*) 2,6 *в* (соответствует номинальной выходной мощности 3 *ва*).

Результат измерений:
напряжение, подаваемое на гнезда звукоснимателя, 150 *мв*.

Измерения провел: (подпись и дата).

Запись результатов снятия зависимостей. При испытаниях радиоаппаратуры часто приходится снимать различные зависимости, например, частотную характеристику, кривые избирательности, характеристику системы АРУ и т. п. Снятие таких зависимостей производится путем многократных измерений одной и той же величины при изменении только одного условия измерений. Например, при снятии амплитудной характеристики усилителя низкой частоты проводят измерение напряжения выходного сигнала при различных значениях напряжения входного сигнала, а все прочие условия измерения (частота сигнала, положение органов управления усилителем и т. п.) сохраняют неизменными.

Запись такого рода измерений делают в форме таблицы, в первом столбце которой записывают значения независимой переменной (в данном случае — напряжения входного сигнала), а во втором столбце — функции (напряжения выходного сигнала). Все прочие условия, влияющие на результат измерений, но сохраняемые в процессе снятия всей характеристики, также должны быть зафиксированы.

Если одна и та же зависимость снимается в нескольких различных условиях, то запись можно произвести в форме одной таблицы, отводя для значений функции ряд столбцов, вверху которых указывается переменное условие.

Поясним сказанное примером.

Вид испытания: Снятие частотной характеристики усилителя низкой частоты.

Объект испытаний: радиоприемник «Иртыш» №. . ., завод. . .

Измерительная аппаратура:
1) звуковой генератор типа ЗГ-10, №. . .;
2) ламповый милливольтметр типа ЛВ-9-2, №. . .;
3) измеритель выхода типа ИВ-4, №. . .

Блок-схема измерений: рис. 1-11.

Условия измерений:
напряжение электросети 122 *в*;
регулятор громкости в положении максимальной громкости;
выходное напряжение на гнездах дополнительного громкоговорителя 0,73 *в* (соответствует 0,1 номинальной выходной мощности).

Результаты измерений: табл. 1-3.

Таблица 1-3

Частота генератора, *гц*	Входное напряжение на гнездах звукоснимателя (*мв*) при установке регуляторов тембра в положения		
	1 (среднее)	2 (левое)	3 (правое)
40	85	—	11
50	71	440	12
70	62	260	14,5
100	56	180	18,5
200	51	100	29
500	50	57	46
1 000	50	50	50
2 000	52	58	47
5 000	62	125	30
10 000	104	330	29
15 000	250	—	42
20 000	570	—	85

Измерения провел: (подпись и дата)

Обработка результатов измерений. Только в простейших случаях удается измерять интересующие нас величины непосредственно. Очень часто приходится определять необходимые величины путем косвенных измерений с последующей математической обработкой полученных результатов. Например, коэффициент усиления усилителя низкой частоты с помощью стандартных измерительных приборов можно определить лишь путем измерения входного (u_1) и выходного (u_2) напряжений сигнала и расчетом по формуле:

$$K = \frac{u_2}{u_1}. \qquad (a)$$

Математическая обработка результатов измерения применяется и для исключения погрешностей измерительной аппаратуры. Так например, не достаточно высокоомный вольтметр при его включении в схему может дать заниженные показания, от которых однако в ряде случаев можно перейти к верному значению интересующего нас напряжения при введении соответствующих поправок.

При снятии зависимостей, когда каждое значение измеряемой переменной величины должно пройти

одинаковую обработку, обычно в таблицу, предназначенную для записи результатов измерений, вводят дополнительные столбцы, в которые записывают и результаты расчетов.

Пусть, например, по результатам измерений, приведенным в табл. 1-3, надо рассчитать относительное изменение коэффициента усиления усилителя низкой частоты в децибелах, причем за нулевой уровень предложено принять усиление на частоте 1000 *гц*. Эту задачу можно решить в несколько этапов дополнительной обработки результатов измерений в рамках прежней таблицы, добавив к ней ряд столбцов:

1) коэффициент усиления для каждой частоты, вычисляемый по формуле (а);

2) относительный коэффициент усиления для каждой частоты, определяемый как отношение $\frac{K}{K_0}$, где K_0 — коэффициент усиления на частоте 1000 *гц*;

3) величина относительного коэффициента усиления, переведенная с помощью соответствующей таблицы или графика (стр. 41) в децибелы.

В результате проведения такой обработки табл. 1-3 примет вид:

Таблица 1-4

Частота генератора, *гц*	При установке регуляторов тембра в положения											
	1 (среднее)				2 (левое)				3 (правое)			
	u_1, *мв*	K	K/K_0	*дб*	u_1, *мв*	K	K/K_0	*дб*	u_1, *мв*	K	K/K_0	*дб*
40	85	8,6	0,59	—4,6	—	—	—	—	11	6,64	4,55	+13,2
50	71	10,3	0,707	—3	440	1,66	0,111	—18,9	12	60,8	4,16	+12,4
70	62	11,8	0,81	—1,8	260	2,8	0,192	—14,3	14,5	50,4	3,45	+10,8
100	56	13,0	0,89	—1,0	180	4,05	0,277	—11,1	18,5	39,5	2,7	+8,6
200	51	14,3	0,98	—0,2	100	7,3	0,5	—6	29	25,2	1,73	+4,8
500	50	14,6	1,0	0	57	12,8	0,877	—1,1	46	15,9	1,09	+0,8
1 000	50	14,6	1,0	0	50	14,6	1,0	0	50	14,6	1,0	0
2 000	52	14,0	0,96	—0,4	58	12,6	0,864	—1,3	47	15,5	1,06	+0,5
5 000	62	11,8	0,81	—1,8	125	5,85	0,4	—8	30	24,4	1,67	+4,5
10 000	104	7,0	0,48	—6,4	330	2,21	0,151	—16,4	29	25,2	1,73	+4,8
15 000	250	2,9	0,20	—14	—	—	—	—	42	17,4	1,19	+1,5
20 000	570	1,3	0,088	—21	—	—	—	—	85	8,6	0,59	—4,6

Построение графиков. Табличная форма записи зависимостей недостаточно наглядна и обычно снятие той или иной зависимости заканчивают построением ее в форме графика.

Прежде чем приступить к построению графика, надо внимательно просмотреть все значения обеих переменных и выбрать такие шкалы и масштабы координатной сетки, при которых полученная зависимость будет представлена наиболее точно и наглядно. Успешное решение этой задачи требует определенного навыка, но некоторые рецепты все же можно указать.

Если обе переменных в пределах полученной зависимости изменяются не очень сильно (не более, чем в 10—20 раз), то обычно используют линейные масштабы координатной сетки, например, миллиметровую бумагу. В таких масштабах были выполнены все приведенные выше графики (рис. 1-7—1-9). Если же одна из переменных изменяется в широких пределах (в 20—50 и более раз), то достаточно наглядный график получается при использовании для этой переменной логарифмического масштаба. Пример такой сетки представлен на рис. 1-12, где применен логарифмический масштаб оси X и линейный масштаб оси Y.

Приближенный закон построения логарифмической шкалы приведен в табл. 1-5, где указаны расстояния десяти штрихов логарифмической декады в миллиметрах при масштабе всей декады 100 *мм*.

Таблица 1-5

Штрих логарифмической шкалы . . .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расстояние, *мм* . . .	0	30	48	60	70	78	85	90	95	100

Последующие декады строятся путем повторения первой. Особенностью логарифмической шкалы является отсутствие нуля. Относительная точность чтения графика в логарифмическом масштабе получается одинаковой в любой части шкалы.

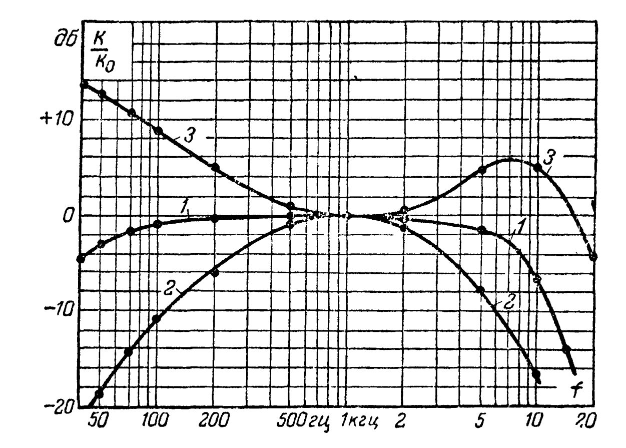


Рис. 1-12. Частотная характеристика усилителя низкой частоты.

1 — регуляторы тембра в среднем положении; *2* — в левом положении, *3* — в правом положении.

Если обе переменных изменяются в широких пределах, то прибегают к двойной логарифмической сетке, где и горизонтальная и вертикальная оси выполняются в логарифмических масштабах.

Для шкалы децибел логарифмический масштаб не применяют, так как сама единица децибел является логарифмической.

Выполнение графика начинают с нанесения в пределах координатной сетки точек в соответствии с таблицей. Затем через все точки одной зависимости проводят плавную кривую линию. Здесь тоже нужен навык. Из-за погрешности измерений или расчетов некоторые точки могут нарушать плавность кривой линии, если ее пытаться провести точно через каждую точку. В таких случаях кривую проводят, минуя выпадающие из общей закономерности точки, а при малом разбросе точек — между ними, оставляя по одну и по другую сторону кривой примерно одинаковое число точек. Правильное применение этих приемов в ряде случаев позволяет получить более точный результат, чем первичные данные измерений.

Для того, чтобы при этом не потерять исходные данные, а также для того, чтобы другое лицо могло оценить правильность построения графика, точки, по которым строится график, рекомендуется делать жирными, не теряющимися за проводимой через них линией и ни в коем случае не стирать их после ее проведения.

Примером выполнения графика по табличным данным является рис. 1-12, построенный по табл. 1-4.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

Чертежи и схемы — необходимое средство выражения мыслей как в радиотехнике, так и в любой другой технической области. Поэтому радиомастер должен уметь не только читать и применять их, но и правильно выполнять. Соблюдение установленных правил придает чертежам большую ясность и наглядность, несоблюдение же их делает чертеж непонятным для другого и ведет к ошибкам при выполнении работы. Знание правил геометрического построения бывает необходимо и для правильной и точной разметки при механических работах (в слесарном, столярном деле и т. д.), а также при изготовлении шкал к различной радиоаппаратуре.

Ниже приводятся основные сведения по техническому черчению, полезные для радиомастера.

2-1. Чертежные принадлежности

Чертежные материалы. Бумага выбирается в соответствии с требованиями, предъявляемыми к чертежу. Чертежи в туши выполняются на чертежной ватманской или полуватманской бумаге; чертежи, подлежащие размножению путем светокопии (синьки), выполняются на бумажной кальке. Стандартный размер листа чертежной бумаги 1189×841 *мм*; для небольших чертежей используют $^1/_2$, $^1/_4$ и т. д. листа. Нормированные форматы чертежной бумаги (после обрезки) приведены в табл. 2-1.

При черчении употребляются простые карандаши. Твердость их условно обозначается буквами М—мягкий и Т — твердый. Надо иметь, по крайней мере, три карандаша различной твердости: для разметки — твердый (5Т или 4Т), для проведения тонких линий — средней твердости (3Т или 2Т) и для обводки — мягкий (М или ТМ). При чертежной работе карандаш должен быть всегда остро заточен (рис. 2-1).

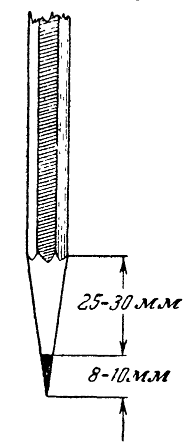


Рис. 2-1. Правильная заточка карандаша.

Для стирания карандашных линий надо иметь мягкую канцелярскую р е з и н к у.

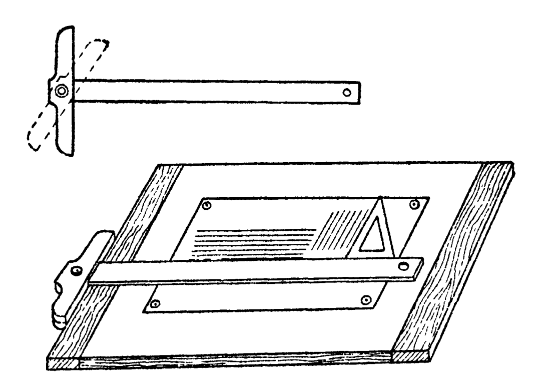
Линейки. При исполнении производственных крупных чертежей важнейшим чертежным инструментом является р е й с ш и н а (рис. 2-2). Рейсшина позволяет проводить строго параллельные линии. Однако применение ее целесообразно лишь при наличии чертежной доски.

Т а б л и ц а 2-1

Форматы чертежной бумаги

Обозначение формата	*0*	*1*	*2*	*3*	*4*
Формат (после обрезки), *мм*	814×1152	576×814	407×576	288×407	203×288
Доля целого листа	1	1/2	1/4	1/8	1/16

Следует иметь несколько линеек и треугольников различных размеров. Удобны прозрачные и некоробящиеся целлулоидные линейки и треугольники. Треугольники выпускаются прямоугольные двух типов: с одинаковыми острыми углами (по 45°) и с разными углами (30 и 60°). При черчении встречается надобность и в тех и в других.


Рис. 2-2. Рейсшина и проведение с ее помощью параллельных прямых.

Линейки должны быть выверены на прямолинейность их ребер. Для этого прочерчивают два раза одну и ту же линию, переворачивая линейку (рис. 2-3, *а*). Аналогичным образом выверяется прямой угол треугольника (рис. 2-3, *б*).

Для построения и измерения различных углов служит т р а н с п о р т и р (рис. 2-4). Вершину измеряемого угла совмещают с меткой посередине прямого ребра транспортира так, чтобы одна из сторон угла совпала с этим прямым ребром транспортира, проходящим через деление 0° шкалы. Тогда величину угла определяют по значению деления шкалы, совпадающего с другой стороной угла.

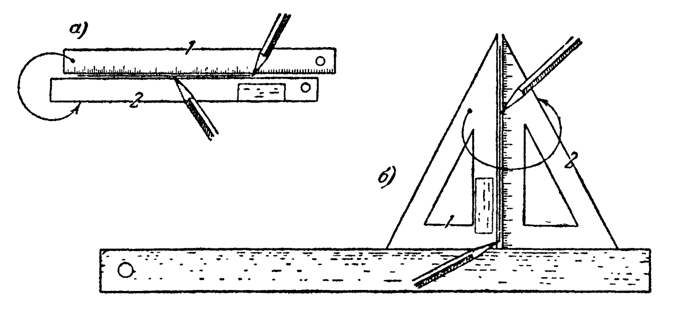


Рис. 2-3. Проверка линеек (*а*) и треугольников (*б*).

При вычерчивании схем большую пользу приносит применение т р а ф а р е т а. Он представляет пластинку из целлулоида (толщиной 0,5—1 *мм*), в которой прорезаны условные обозначения, буквы и т. д.

На рис. 2-5 изображен специальный трафарет для вычерчивания элементов принципиальных радиотехнических схем, который легко изготовить самостоятельно.

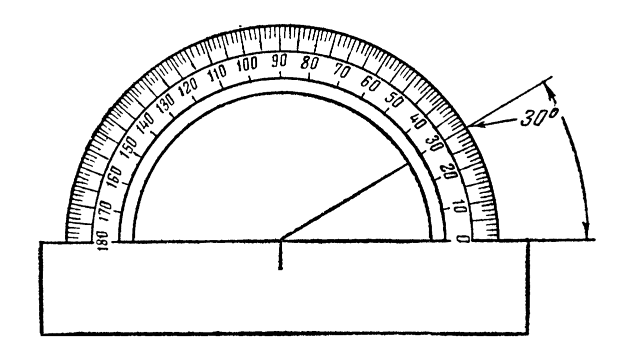


Рис. 2-4. Транспортир.

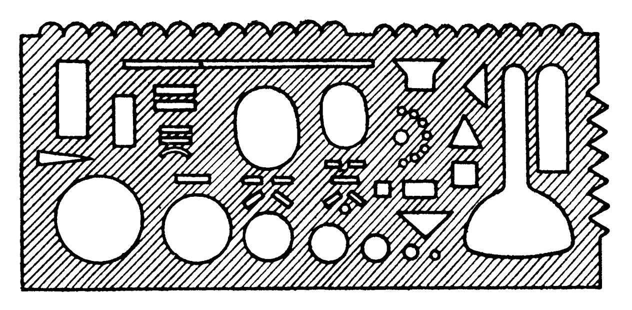


Рис. 2-5. Самодельный трафарет для вычерчивания радиосхем.

Циркули, рейсфедер. Различают измерительный циркуль (рис. 2-6, *а*), обе ножки которого оканчи-

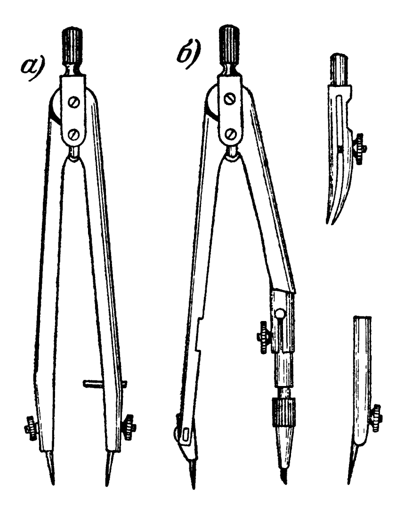


Рис. 2-6. Циркули.
а — измерительный; *б* — круговой.

ваются иглами, и круговой (рис. 2-6, *б*), служащий для проведения окружностей. В одну из ножек кругового циркуля может вставляться наконечник с графитом (для черчения карандашом), двустворчатое стальное перо (для черчения тушью) или игла. В последнем случае круговой циркуль превращается в измерительный.

Двустворчатое стальное перо в отдельной ручке (рис. 2-7, *а*) называется рейсфедером. Рейсфедер служит для проведения по линейке прямых линий различной толщины.

Толщина линий, проводимых рейсфедером, регулируется гайкой, изменяющей расстояние между створками.

Двустворчатые перья рейсфедера и кругового циркуля наполняются тушью при помощи ручки и гусиного или обыкновенного чистого пера, которое вводится вместе с тушью в промежуток между створками сверху (рис. 2-7, *б*).

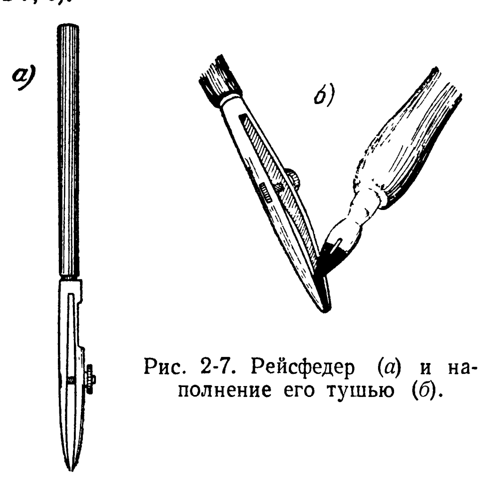


Рис. 2-7. Рейсфедер (*а*) и наполнение его тушью (*б*).

Кроме рейсфедера, для проведения линий и написания букв часто применяются специальные чертежные трубочки (стеклянные).

При черчении тушью неверно начерченное соскабливают острием ножа или срезают вместе с тонким поверхностным слоем бумаги лезвием бритвы.

Чертежные инструменты требуют аккуратного обращения и хранения в чистоте.

Недопустимо использование чертежных циркулей и игл для разметки по металлу, дереву и другим твердым материалам.

2-2. Приемы геометрического построения

Деление отрезка прямой. *Деление на две равные части.* Из концов отрезка прямой, как из центров, проводят циркулем две дуги одинакового радиуса (рис. 2-8, *а*). Точки пересечения C и D дуг соединяют прямой линией. Тогда точка O пересечения прямой CD с данным отрезком AB будет его серединой, т. е. $AO = OB$. Для того, чтобы разделить данный отрезок AB на четыре равные части, надо тем же способом разделить каждую его половину. Поступая так же и дальше, можно делить отрезок на 8, 16 и т. д. равных частей.

Деление отрезка прямой на любое количество равных частей. Под произвольным углом к данному отрезку AN проводят прямую AQ (рис. 2-8, *б*). От точки A на прямой AQ откладывают измерительным циркулем нужное количество равных частей произвольной длины и получают на ней точки b, c, d и т. д. Последнюю точку n соединяют с концом N данного отрезка и, пользуясь треугольником, передвигаемым вдоль неподвижной линейки, через

остальные точки b, c и т. д. проводят прямые линии, параллельные прямой nN: bB, cC, dD и т. д. Полученные на отрезке AN точки B, C, D и др. делят его на нужное число равных частей.

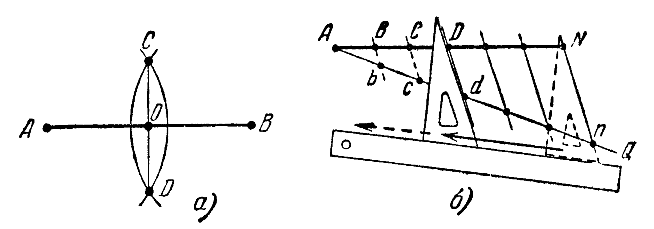


Рис. 2-8. Деление отрезка прямой.

а — на две равные части; *б* — на любое число равных частей.

Проведение прямых линий и построение углов. Параллельные прямые линии проводятся уже описанным способом с помощью треугольника и линейки (рис. 2-8, *б*, и 2-2).

Перпендикулярные прямые могут быть проведены с помощью линейки и прямоугольного треугольника с выверенным прямым углом (рис. 2-3, *б*) или с помощью транспортира. Вообще транспортир пригоден для построения любых углов. Для этого по прямому ребру транспортира, которое проходит через нулевое деление шкалы, проводят одну сторону угла. Другая сторона угла проводится от метки, посередине прямого ребра транспортира через деление на шкале, соответствующее значению угла (рис. 2-4).

Если требуется построить угол по заданному значению какой-либо тригонометрической функции, то сначала можно определить по тригонометрической таблице величину угла в градусах, соответствующую данному значению функции, а затем уже построить этот угол с помощью транспортира.

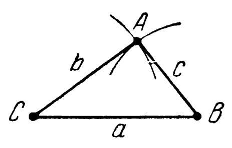


Рис. 2-9. Построение треугольников по трем сторонам.

Построение фигур. *Треугольник* чаще всего приходится строить по заданным размерам (a, b и c) трех его сторон. Изображают одну сторону (a на рис. 2-9) и из ее концов, как из центров, проводят две дуги радиусами, равными двум другим сторонам (b и c) треугольника. Точка A пересечения дуг соединяется прямыми с концами стороны a.

Прямоугольники строятся по описанным выше правилам построения прямых углов.

Правильные треугольники и многоугольники, которые довольно часто составляют детали внешнего оформления аппаратуры, характерны тем, что все их вершины лежат на одной окружности, которая делится ими на равные части. Поэтому построение таких фигур сводится к делению окружности на необходимое число равных частей и соединению точек деления прямыми линиями.

Деление окружности на три или на шесть равных частей производится циркулем, если раствор его ножек сделать равным радиусу данной окружности (рис. 2-10).

Деление окружности на любое количество равных частей. В данной окружности проводят два взаимно перпендикулярных диаметра AB и CD (рис. 2-11). Один из них (AB) делят на нужное количество равных частей.

На рис. 2-11 представлен случай деления окружности на 5 частей. Соответственно диаметр AB разбит на 5 равных частей точками 1, 2, 3, 4. Далее из конца B этого диаметра радиусом, равным диаметру окружности, проводят дугу MAN до пересечения ее с продолжениями другого диаметра CD. Из полученных точек M и N пересечения проводят через одно деление первого диаметра прямые до пересечения с противоположной стороной окружности (в точках 1′, 2′, 3′ и т. д.). Точки эти разделят окружность на такое же количество равных частей, на какое был разделен ее диаметр.

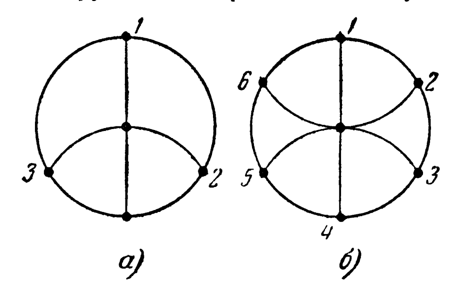


Рис. 2-10. Деление окружности.

а—на три равных части; *б*—на шесть равных частей.

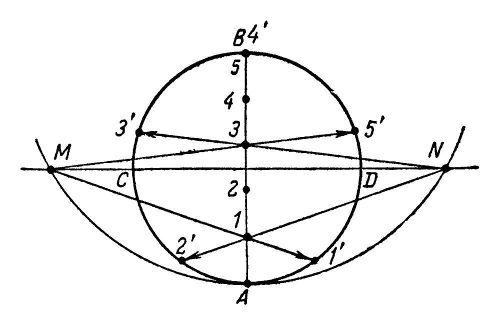


Рис. 2-11. Деление окружности на любое число равных частей.

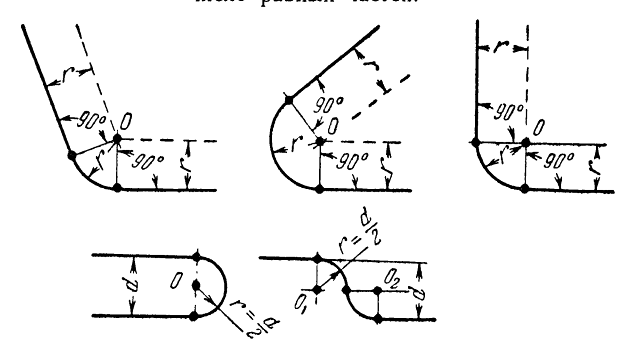


Рис. 2-12. Примеры сопряжения линий.

Сопряжение линий при вычерчивании закругленных углов основано на том, что центр сопрягающей дуги лежит в точке пересечения перпендикуляров к концам сопрягаемых прямых. Несколько примеров сопряжения показано на рис. 2-12.

Овал (рис. 2-13) состоит из сопряженных дуг двух

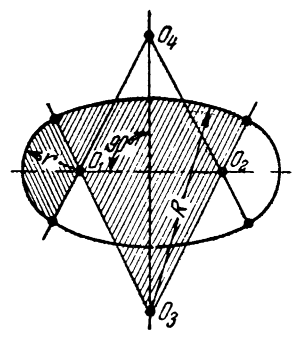


Рис. 2-13. Построение овала.

различных радиусов. Центры противоположных дуг располагаются попарно (O_1 с O_2 и O_3 с O_4) на двух взаимно перпендикулярных прямых. Кроме того, центры каждых двух соседних дуг (например, O_1 и O_3) лежат на прямой, проходящей через точку сопряжения этих дуг.

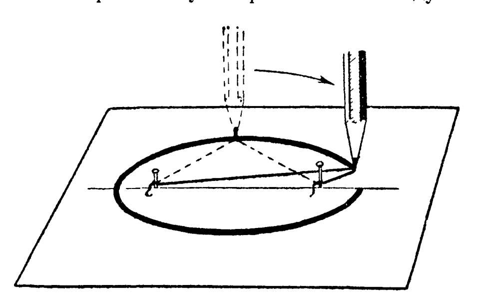


Рис. 2-14. Построение эллипса.

Эллипс проще всего может быть вычерчен карандашом с помощью двух булавок и привязанной к ним нитки. Это наглядно иллюстрирует рис. 2-14.

2-3. Производственные чертежи

Прямоугольные (ортогональные) проекции. Изображение предметов на производственных чертежах осуществляется методом прямоугольных проекций. Суть этого метода состоит в том, что из всех точек линий, составляющих форму данного предмета, опускаются перпендикуляры на некоторую плоскость, расположенную позади предмета. Основания этих перпендикуляров образуют на плоскости проекцию предмета. Обычно для исчерпывающего представления о предмете приходится давать несколько проекций его. При этом предмет представляют помещенным внутри полого куба (рис. 2-15, *а*) и осуществляют проекции на несколько сторон этого куба (большей частью на три стороны). Затем стороны куба как бы «развертывают», причем все проекции попадают на одну плоскость (рис. 2-15, *б*).

Принцип получения прямоугольных проекций уясняется не без труда, ибо наш глаз привык видеть боковые поверхности предмета в перспективе уходящими в даль под наклоном. В проекциях же боковые плоскости предмета, перпендикулярные плоскости чертежа, не изображаются.

При выполнении производственных чертежей очень важно умело выбрать главный вид (вид спереди) изображаемого предмета, чтобы он давал наиболее ясное представление о форме и основных размерах этого предмета. Надо также правильно выбрать минимальное необходимое количество проекций. Так, многие предметы круглой формы нуждаются только в двух проекциях. Исчерпывающее представление о деталях из листового материала часто можно получить и по одной проекции. Однако в случае деталей сложной конфигурации или узлов бывает недостаточно и трех проекций.

Взаимное расположение проекций определяется относительно главного вида и подчинено простому правилу: если положить предмет на его главный вид так, как он изображен на нем, то опрокидывая его вверх, влево, вниз и вправо, мы всякий раз будем видеть его в том виде в каком он должен быть изображен на проекциях, занимающих соответствующие места (рис. 2-15, *в*).

В каждой проекции изображения видимых контуров предмета выполняются сплошными линиями, а контуры, скрытые позади ближайшей к глазу поверхности предмета, — прерывистыми («штриховыми») линиями.

Масштабы. Размеры чертежа зависят от деталей предмета, подлежащих четкому изображению. В производственных чертежах отдают предпочтение натуральной величине, т. е. масштабу 1 : 1. Если в этом масштабе чертеж оказывается слишком большим, то допустимо уменьшение, но только в отношениях 1 : 2; 1 : 5; 1 : 10; 1 : 20; 1 : 50 и т. д. С другой стороны, предметы с неразличимо мелкими деталями следует изображать в увеличенном виде, в масштабах 2 : 1, 5 : 1 или 10 : 1. В соответствии с размерами чертежа выбирается формат бумаги. Чертеж может быть обведен рамкой, отстоящей не больше чем на 10 *мм* от краев листа.

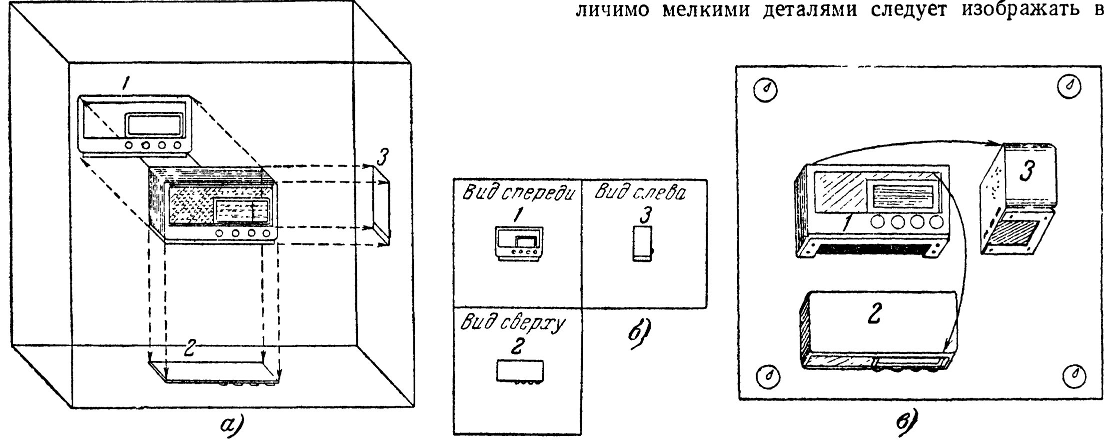


Рис. 2-15. Принцип получения прямоугольных проекций.

а — проектируемый предмет помещается внутри полого куба и на соответствующих сторонах куба строятся три проекции предмета; *б* — на листе бумаги проекции располагаются в строго определенном порядке; *в* — определение порядка расположения проекций предмета.

Надписи. В правом нижнем углу в рамке помещается штамп чертежа, который состоит из указания масштаба (например, 1 : 1), названия предмета, номера чертежа, названия учреждения, даты изготовления чертежа и подписей. Выше штампа помещается *спецификация* — перечень отдельных частей изображенного предмета. Если составной предмет изображается в нескольких чертежах (общий вид в сборке и чертежи отдельных деталей), то на всех чертежах и спецификациях соблюдается одинаковая нумерация деталей. Номера деталей помещаются на выносных «полках». «Полки» рекомендуется располагать по ли-

ниям, параллельным или перпендикулярным к строке штампа чертежа.

Образцы шрифтов для штампа, спецификации, а также для надписей на самом чертеже приведены на рис. 2-16. Нормированные размеры шрифтов: 2,5; 3,5; 5; 7; 10 и 14 *мм* (высота прописных, заглавных букв), высота строчных букв составляет $^2/_3$ высоты прописных. Принятый

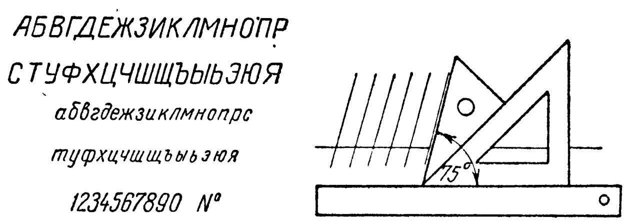


Рис. 2-16. Образец нормального косого шрифта для производственных чертежей.

на чертежах наклон букв и цифр составляет 75° к горизонтали (угол 75° легко строится с помощью треугольников с углами 45 и 30°). Надписи не должны пересекать линий и вредить наглядности чертежа.

Линии (рис. 2-17). Сплошные жирные линии служат для изображения видимых контуров предмета; толщина их выбирается в пределах 0,4—1,2 *мм*. Так как от толщины этих линий зависит толщина всех прочих линий на чертеже, обозначим ее буквой *b*.

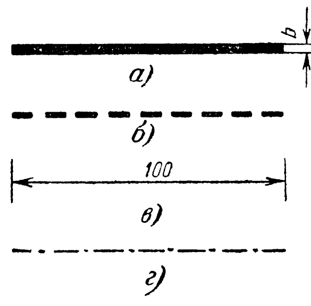


Рис. 2-17. Линии.

а—сплошная толстая; *б*—штриховая; *в* — сплошная тонкая; *г* — штрих-пунктирная.

Штриховые линии применяются для изображения невидимых контуров предмета; их толщина берется от $\frac{b}{2}$ до $\frac{b}{3}$.

Сплошные тонкие линии $\left(\frac{b}{3}\text{ и тоньше}\right)$ служат для простановки размеров. Числа, обозначающие размер, помещаются над размерной линией, оканчивающейся острыми стрелками, по возможности в середине ее. Размеры указываются в *мм*, причем наименование *«мм»* не ставится.

Штрих-пунктирные линии $\left(\frac{b}{3}\text{ и тоньше}\right)$ вычерчиваются чередующимися точками и тире. Эти линии указывают симметрию предмета («главная средняя линия») или положение центров отверстий («осевая линия»). Главную среднюю линию нет надобности определять указанием размеров: если, например, полоска листового материала имеет в ширину 40 *мм*, то само собой разумеется, что средняя линия должна отстоять от краев ее на 20 *мм*. Наоборот, к средней линии часто относят расстояние до отверстий, так как именно от нее исходят при накернивании центров высверливаемых отверстий. Проставляя размеры, надо отчетливо представлять ход работы на практике: указывать только нужные размеры и относить их к тем линиям, от которых они будут отсчитываться при разметке материала.

Разрез, сечение, разрыв. Чтобы показать внутреннее устройство детали в данном месте, мысленно пересекают ее в этом месте перпендикулярной к детали плоскостью и наносят на бумагу разрез или сечение детали.

Разрезом называется такая условная проекция предмета, когда часть его, находящаяся между глазом наблюдателя и секущей плоскостью, как бы удалена и вычерчивается то, что лежит в самой секущей плоскости и расположено за ней. *Сечение* же изображает лишь то, что расположено в самой секущей плоскости.

Для указания плоскости сечения при разрезах применяют штрих-пунктирные линии. В этих случаях толщина линий берется $\frac{b}{2}$ и больше. *Разрывы* применяются (в целях экономии места и упрощения чертежа) при вычерчивании длинных деталей.

Техника изображения разрезов, сечений и разрывов показана на рис. 2-18.

Штриховка выполняется тонкими сплошными линиями, проведенными под углом 45° к горизонтали.

Упрощенный способ изображения резьбы и условные обозначения для указания качества обработки деталей приведены на рис. 2-19 и 2-20.

Применение изложенных правил исполнения технических чертежей иллюстрируют рис. 2-21 и 2-22.

2-4. Радиотехнические схемы

Принципиальные электрические схемы. В течение многих лет отсутствовали стандарты и инструкции по вычерчиванию принципиальных схем. Это привело к довольно большому разнообразию схемных обозначений одних и тех же деталей. В последнее время имеется тенденция к упорядочению этого вопроса. Многие министерства и госкомитеты пользуются в настоящее время междуведомственной нормалью «Система чертежного хозяйства» (Н0.000.004), которая наряду с другими вопросами нормализует и условные обозначения элементов радиотехнических схем. Кроме того, уже разработан проект ГОСТа на условные графические обозначения в радиотехнических схемах.

В табл. 2-2 приведены некоторые наиболее распространенные в радиотехнической литературе условные обозначения.

При обозначении емкостей и сопротивлений часто пользуются сокращенной записью без указания единиц измерений, причем числами без запятых указывают емкость в пикофарадах и сопротивление в омах, а числами с запятыми — емкость в микрофарадах и сопротивление в мегомах. Величину сопротивления в килоомах обозначают числом килоом с буквой *к*. Значения сопротивления с долями ома и емкости с долями пикофарады выражают полностью (числом и единицей измерения).

Примеры:

Номинал	Сокращенное обозначение
300 *ом*	300
27 *ком*	27 *к*
1 *Мом*	1,0
470 *пф*	470
5 100 *пф*	5100
20 *мкф*	20,0

Для указания мощности сопротивлений иногда применяют систему условных обозначений, представленную на рис. 2-23.

Для того, чтобы принципиальная схема легко читалась, надо при выполнении ее внимательно продумывать взаимное размещение всех элементов на листе бумаги и оставлять достаточно места для различных надписей и буквенных обозначений, которые обычно наносятся на схему после вычерчивания всех электрических соединений.

При ремонте аппаратуры весьма удобны принципиальные схемы, на которых указаны режимы питания отдельных цепей. Значения напряжений принято писать возле одиночных проводов, причем понимается, что это напряжение действует между данным проводом и общим прово-

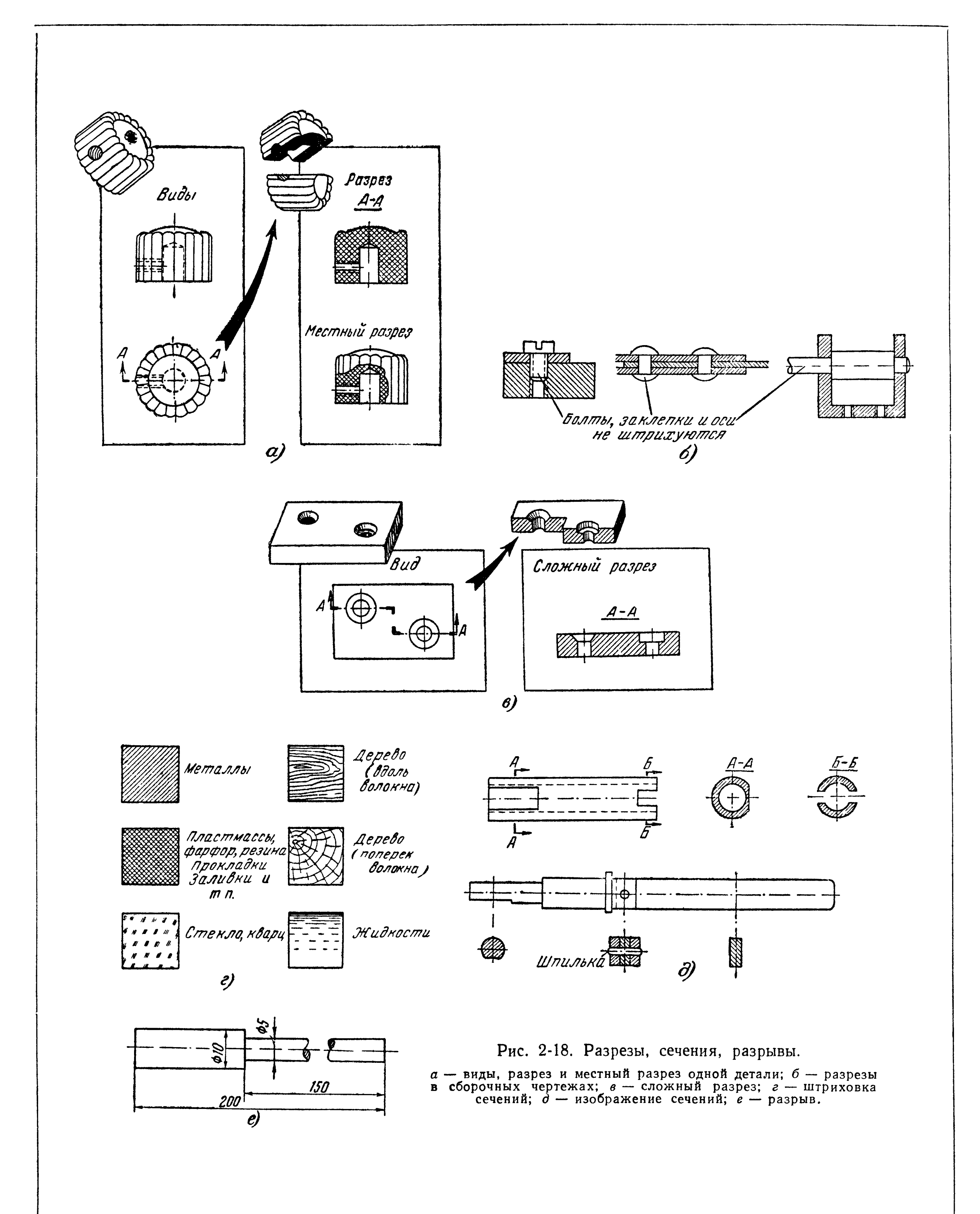


Рис. 2-18. Разрезы, сечения, разрывы.

а — виды, разрез и местный разрез одной детали; *б* — разрезы в сборочных чертежах; *в* — сложный разрез; *г* — штриховка сечений; *д* — изображение сечений; *е* — разрыв.

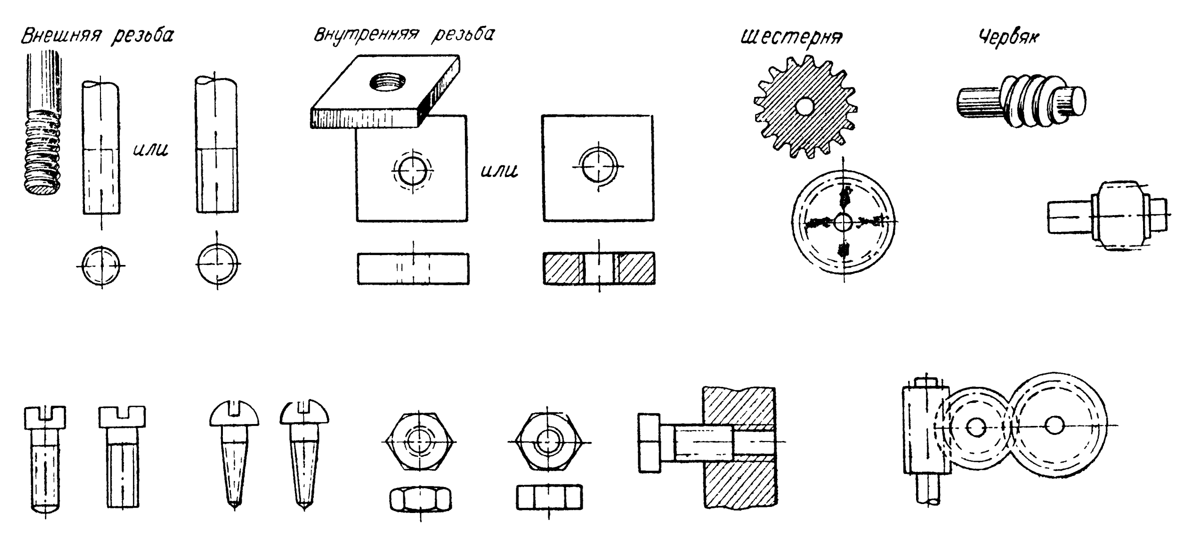
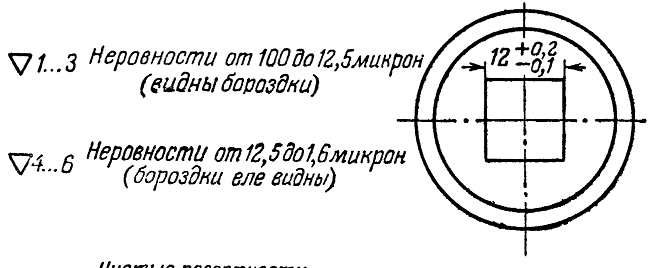


Рис. 2-19. Упрощенное изображение резьбы и резьбовых изделий.



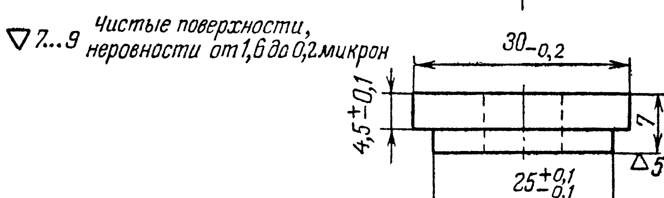


Рис. 2-20. Условные обозначения для указания качества обработки поверхностей и обозначение предельных отклонений размеров.

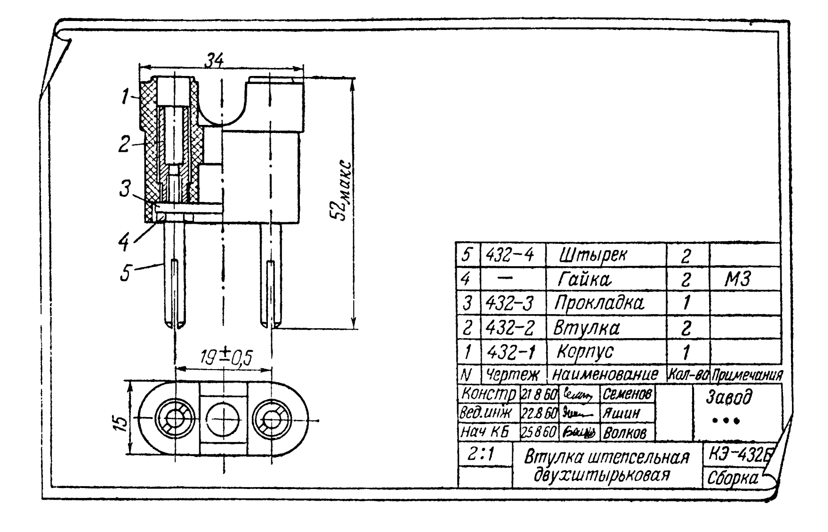
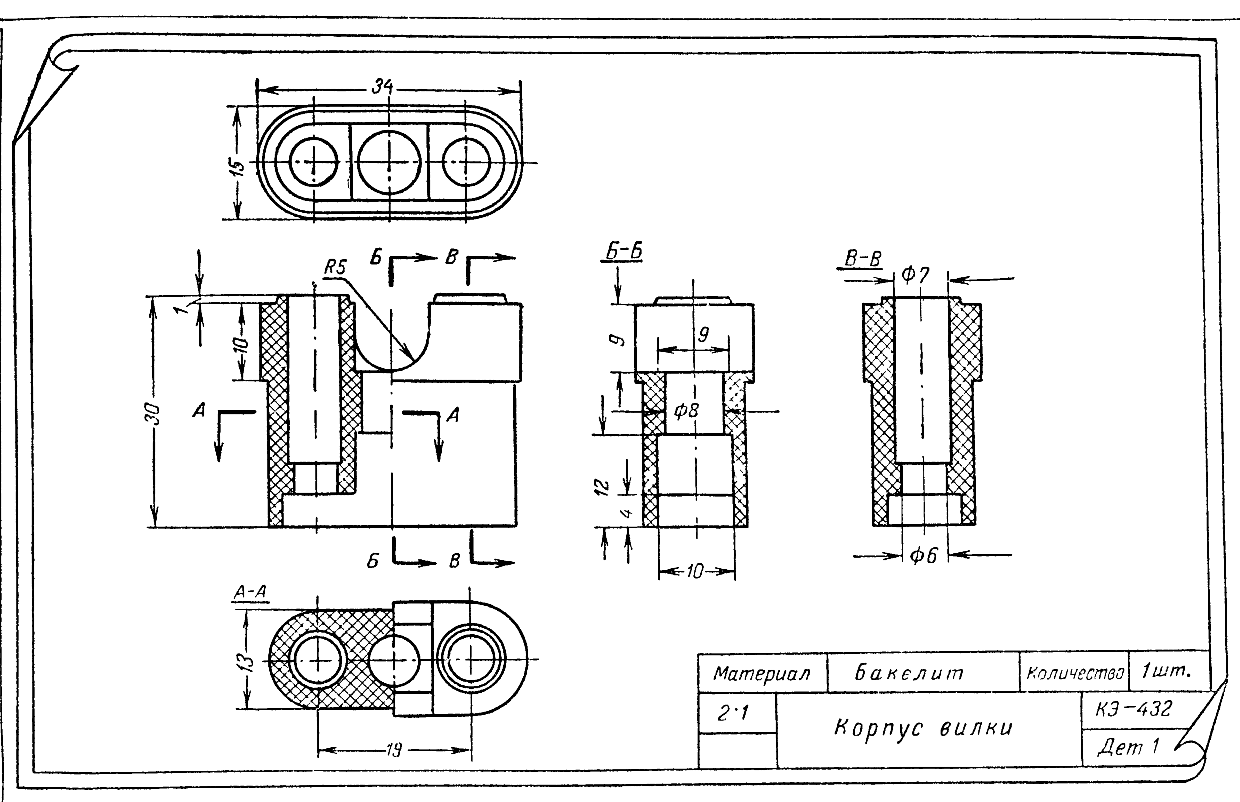


Рис. 2-21. Производственный чертеж штепсельной вилки (сборка).



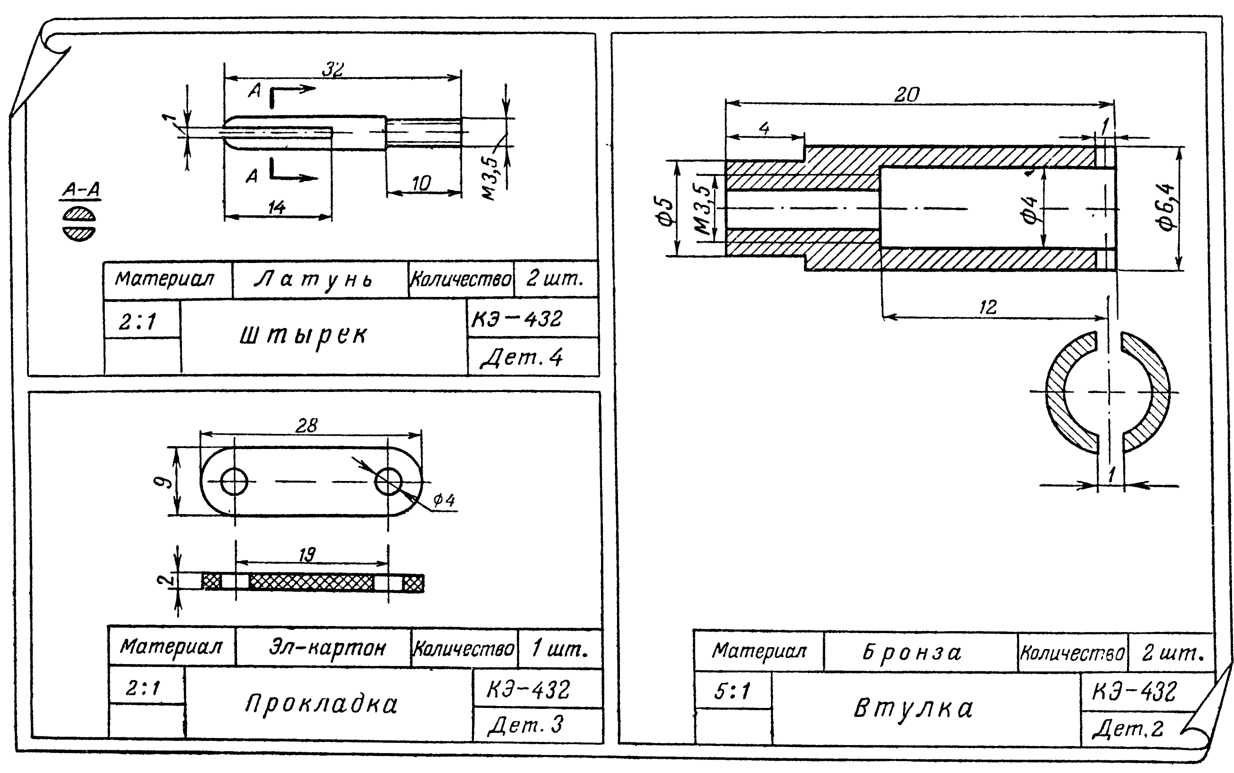


Рис. 2-22. Производственный чертеж штепсельной вилки (деталировка).

Таблица 2-2

Условные обозначения для принципиальных радиотехнических схем

Элемент схемы	Условное графическое обозначение	Символ	Элемент схемы	Условное графическое обозначение	Символ
Гальванический элемент, аккумулятор		*Б*	Дроссель низкочастотный		*Др*
Батарея гальванических элементов или аккумуляторов		*Б*	Трансформатор низкочастотный		*Тр*
Провод		—	Микрофон		*М*
Экранированный провод		—	Телефонные трубки		*Тл*
Провода соединяются		—	Громкоговоритель		*Гр*
Провода не соединяются		—	Звукосниматель		*Зв*
Заземление, соединение с корпусом		—	Диод		*Л*
Антенна		*А*	Двойной диод		*Л*
Выключатель		*Вк*	Триод		*Л*
Переключатель		*П*	Двойной диод-триод		*Л*
Реле		*Р*	Лучевой тетрод		*Л*
Постоянное сопротивление		*R*	Пентод		*Л*
Переменное сопротивление		*R*	Гептод		*Л*
Конденсатор постоянной емкости		*С*			
Конденсатор электролитический		*С*			
Конденсатор переменной емкости		*С*			
Подстроечный конденсатор		*С*			
Катушка индуктивности		*L*			

Продолжение табл. 2-2

Элемент схемы	Условное графическое обозначение	Символ	Элемент схемы	Условное графическое обозначение	Символ
Электронно-световой индикатор		Л	Фотоэлемент		ФЭ
Стабилитрон		Л	Полупроводниковый диод		Д
Баретгер		Л	Транзистор структуры *р-п-р*		Т
Неоновая лампа		НЛ	Транзистор структуры *п-р-п*		Т

дом схемы («землей», шасси). При указании величины тока принято провод соответствующей цепи пересекать крестиком, возле которого и проставляется значение тока.

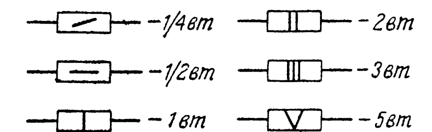


Рис. 2-23. Условные обозначения мощности сопротивлений на принципиальных схемах.

При указании нормальных значений напряжения сигнала в различных цепях следует применять символ переменного тока (например, ~100 *мв*), чтобы эти обозначения не могли быть спутаны с обозначениями режимов питания постоянным током.

Если прибор, схема которого вычерчивается, состоит из двух или большего числа блоков, соединяемых между собой посредством штепсельных разъемов или жгутов, разделываемых под гребенки с лепестками, то и принципиальная схема такого прибора должна разбиваться на соответствующие части, причем надо изображать все разъемы и разделочные гребенки. На схеме следует указывать, с какой стороны дан вид разъема (со стороны монтажа или снаружи) или приводить нумерацию каждого контакта в соответствие с монтажем.

Электромонтажные схемы. Монтаж прибора по принципиальной схеме часто требует от монтажника хорошей ориентировки в вопросах конструирования радиоаппаратуры. Для облегчения монтажа и ремонта радиоприборов, в особенности серийно выпускаемых, находят широкое применение монтажные схемы, которые занимают промежуточное положение между принципиальными схемами и производственными чертежами. На них не указываются многие сугубо конструктивные элементы, однако все детали и провода изображаются расположенными так, как

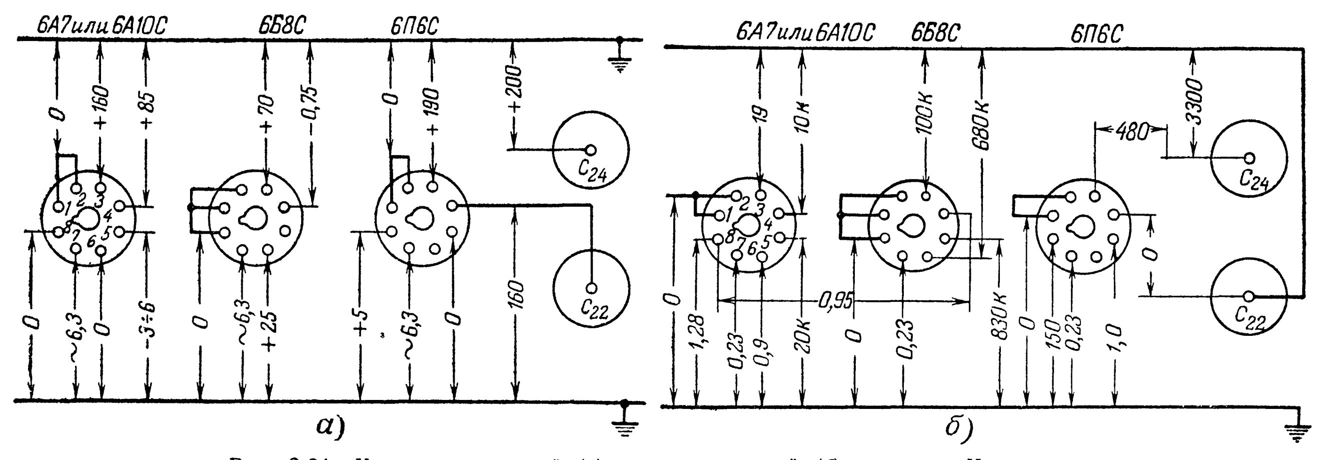


Рис. 2-24. Карты напряжений (*а*) и сопротивлений (*б*) радиолы «Кама».

В принципиальных схемах телевизоров и другой аппаратуры со сложными формами сигналов, контролируемых с помощью осциллографа, иногда изображают возле соответствующих точек схемы осциллограммы действующих в этих точках (относительно земли) напряжений.

это должно иметь место в конструкции аппарата, хотя иногда допускается некоторая схематизация обозначений деталей.

Главное, что должна отображать монтажная схема, — это места всех паек, лепестков и прочих монтажных эле-

ментов, на которых производится электрическое соединение выводов всех деталей, и расположение с соблюдением масштаба и направления важнейших деталей (трансформаторов, ламповых панелек, катушек, переключателей и т. п.).

Наряду с монтажными схемами отдельных приборов, для конструкций, состоящих из ряда блоков, применяются так называемые схемы соединений или «кабельные» схемы, которые призваны показать взаимное соединение отдельных блоков между собой. В этих схемах отдельные блоки изображаются прямоугольниками, в пределах которых указываются только колодки, предназначенные для внешних соединений. Далее указываются все жгуты, кабели и прочие соединительные элементы с четким пояснением того, какие контакты на различных блоках и при помощи каких проводов соединяются между собой для монтажа всей установки в целом.

По форме исполнения к монтажным схемам примыкают *карты напряжений и сопротивлений* (рис. 2-24), на которых указываются наиболее важные для проверки и настройки прибора точки монтажа и подписываются значения напряжений или сопротивлений постоянному току в этих точках. Значения напряжений обычно предполагаются измеренными относительно шасси. Значения сопротивлений также указываются относительно шасси и измеряются при выключенном питании.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ЭЛЕКТРОРАДИОТЕХНИКА

3-1. Единицы измерения электрических величин

Практическая система единиц. Для получения правильного результата при расчете по формулам совершенно необходимо сознательно применять единицы измерения.

В настоящее время существует ряд различных систем единиц, из которых наибольшее распространение получила так называемая практическая система единиц, условно обозначаемая первыми буквами четырех основных единиц — МКСА (метр, килограмм, секунда, ампер), см. табл. 3-1. Большинство электрорадиотехнических формул приводится в таком виде, что они справедливы при условии подстановки в них всех величин в основных единицах этой системы. Исключения в основном составляют формулы, в пояснениях к которым особо оговариваются единицы измерения или дается ссылка на другую систему единиц, и формулы, в которых правила размерности позволяют производить расчет в других единицах.

Например, в сопровождение формулы

$$R = \frac{\varrho l}{s},$$

служащей для расчета сопротивления провода, даются указания о размерности: l — в метрах, ϱ — в *ом·мм²/м*; s — в *мм²*.

В качестве другого примера рассмотрим формулу для расчета общего сопротивления двух параллельно соединенных сопротивлений:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Все, входящие в нее величины, имеют одинаковую размерность. При этом достаточно подставить значения обоих сопротивлений в одинаковых единицах, например, в мегомах, причем и ответ получится в тех же единицах.

Поскольку величины, идущие в расчет, далеко не всегда бывают заданы в основных единицах, надо уметь безошибочно переводить их из одних единиц в другие. Соотношения между основными и производными единицами системы МКСА приведены в табл. 3-1. Вторые названия некоторых единиц, указанные в таблице в скобках, приведены в справочных целях; к употреблению они не рекомендованы.

Магнитные единицы. Значения величин, характеризующих магнитные цепи, чаще всего приводятся в единицах другой системы — СГСМ (сантиметр, грамм, секунда, магнитная проницаемость вакуума). В расчете на применение этой системы чаще всего приводятся и формулы для магнитных цепей.

Единицей напряженности магнитного поля (H) в этой системе является эрстед (*э*). Поле в 1 *э* создается прямым проводом бесконечной длины с постоянным током 5 *а* на расстоянии 1 *см* от оси провода. Если в магнитное поле внесены материал с магнитной проницаемостью, отличной от единицы, то вместо напряженности поля говорят о «магнитной индукции» (B) для которой применяется другая единица измерения — гаусс (*гс*). В воздухе и в материалах, безразличных к магнитному полю, у которых магнитная проницаемость $\mu = 1$, понятия «напряженность магнитного поля» и «магнитная индукция», а также значения единиц эрстед и гаусс совпадают. В стали же, например, где $\mu \gg 1$, напряженность магнитного поля оказывается в μ раз меньше магнитной индукции.

Произведение магнитной индукции на перпендикулярную направлению магнитного поля площадку, пронизываемую этим полем, называют магнитным потоком Φ через эту площадку. Единицей измерения магнитного потока в системе СГСМ является максвелл (*мкс*). 1 *мкс* — это поток через площадку в 1 *см²* при магнитной индукции 1 *гс*.

В практических расчетах, наряду с эрстедом, часто пользуются другой единицей измерения напряженности магнитного поля — ампер-витком на сантиметр (*ав/см*). Эта единица имеет следующее происхождение. Напряженность магнитного поля, создаваемого соленоидом, пропорциональна току в соленоиде и числу витков его, т. е. ампер-виткам (*ав*). Однако при одинаковом числе ампервитков напряженность поля тем сильнее, чем короче путь магнитной силовой линии. В системе СГСМ напряженность магнитного поля, создаваемого очень длинным соленоидом на его оси, может быть выражена соотношением

$$H = 1{,}25 \frac{Iw}{l},$$

где I — ток, *а*;
w — число витков соленоида;
l — длина магнитной силовой линии, *см*;
H — напряженность магнитного поля, *э*.

Таким образом вместо эрстедов можно употреблять ампер-витки, приходящиеся на 1 *см*, причем 1 *ав/см* = = 1,25 *э*.

Наконец, в расчетах магнитных цепей очень удобной величиной, позволяющей использовать формулы цепи постоянного тока, оказывается так называемая «магнитодвижущая сила» (м. д. с.), представляющая собой произведение напряженности поля на длину магнитной силовой линии. Соответственно единицей измерения ее является эрстед, умноженный на сантиметр (*э. см*). Выражая напряженность поля в *ав/см* и умножая их на длину магнитной линии, легко убедиться в том, что м. д. с. равна 1,25 *ав* соленоида. Обычно предпочитают пользоваться последней единицей м. д. с. (*ав*), причем, однако, не надо забывать о коэффициенте 1,25.

Таблица 3-1

Величина и ее обозначение в формулах	Основная единица		Производные единицы		Соотношение производных единиц с основными
	наименование	обозначение	наименование	обозначение	
Длина, l	метр	*м*	сантиметр миллиметр микрон миллимикрон ангстрем километр	*см* *мм* *мк* *ммк* Å *км*	1 *см* = 10^{-2} *м* 1 *мм* = 10^{-3} *м* 1 *мк* = 10^{-6} *м* 1 *ммк* = 10^{-9} *м* 1Å = 10^{-10} *м* 1 *км* = 10^{3} *м*
Масса, m	килограмм	*кг*	грамм	*г*	1 *г* = 10^{-3} *кг*
Время, t	секунда	*сек*	миллисекунда микросекунда миллимикросекунда (наносекунда)	*мсек* *мксек* *ммксек* (*нсек*)	1 *мсек* = 10^{-3} *сек* 1 *мксек* = 10^{-6} *сек* 1 *ммксек* = 10^{-9} *сек*
Ток, I, i	ампер	*а*	миллиампер микроампер миллимикроампер	*ма* *мка* *ммка*	1 *ма* = 10^{-3} *а* 1 *мка* = 10^{-6} *а* 1 *ммка* = 10^{-9} *а*
Количество электричества, Q, q	кулон или ампер-секунда	*к* *а. сек*	ампер-час миллиампер-час	*а. ч* *ма. ч*	1 *а. ч* = 3600 *к* 1 *ма. ч* = 3,6 *к*
Электрический потенциал, э. д. с., напряжение V, E, e, U, u	вольт	*в*	милливольт микровольт киловольт	*мв* *мкв* *кв*	1 *мв* = 10^{-3} *в* 1 *мкв* = 10^{-6} *в* 1 *кв* = 10^{3} *в*
Электрическое сопротивление, R, r	ом	*ом*	килоом мегом	*ком* *Мом*	1 *ком* = 10^{3} *ом* 1 *Мом* = 10^{6} *ом*
Мощность, P, p	ватт	*вт*	милливатт микроватт киловатт	*мвт* *мквт* *квт*	1 *мвт* = 10^{-3} *вт* 1 *мквт* = 10^{-6} *вт* 1 *квт* = 10^{3} *вт*
Энергия, работа, W, A	джоуль, ватт-секунда	*дж.* *вт. сек*	ватт-час гектоватт-час киловатт-час	*вт. ч* *гвт. ч* *квт. ч*	1 *вт. ч* = 3600 *дж* 1 *гвт. ч* = 100 *вт. ч* 1 *квт. ч* = 10 *гвт. ч*
Напряженность электрического поля, E	вольт на метр	*в/м*	милливольт на метр микровольт на метр киловольт на сантиметр киловольт на миллиметр	*мв/м* *мкв/м* *кв/см* *кв/мм*	1 *мв/м* = 10^{-3} *в/м* 1 *мкв/м* = 10^{-6} *в/м* 1 *кв/см* = 10^{5} *в/м* 1 *кв/мм* = 10^{6} *в/м*
Электрическая емкость, C	фарада	*ф*	микрофарада пикофарада (микромикрофарада)	*мкф* *пф* (*мкмкф*)	1 *мкф* = 10^{-6} *ф* 1 *пф* = 10^{-12} *ф*
Индуктивность, L; взаимная индуктивность, M	генри	*гн*	миллигенри микрогенри миллимикрогенри	*мгн* *мкгн* *ммкгн*	1 *мгн* = 10^{-3} *гн* 1 *мкгн* = 10^{-6} *гн* 1 *ммкгн* = 10^{-9} *гн*

3-2. Законы цепи постоянного тока

Электрическое сопротивление проводника. Сопротивление проводника постоянному току прямо пропорционально длине проводника, удельному сопротивлению его материала и обратно пропорционально его поперечному сечению:

$$R = \frac{\varrho l}{s}. \qquad (3\text{-}1)$$

Как уже отмечалось, для расчета по этой формуле длину проводника l надо подставлять в метрах, сечение s в *мм*², а удельное сопротивление ϱ — в *ом·мм²/м* (именно в такой размерности принято приводить значения удельных сопротивлений в справочных таблицах).

Удельные сопротивления наиболее распространенных металлов указаны в табл. 3-2. Если материал проводника неизвестен, то измеряют сопротивление одного метра этого провода, причем сразу становится известным значение $\frac{\varrho}{s}$, и вычисления по формуле (3-1) упрощаются.

Сопротивление любого проводника зависит от температуры, при которой он работает. Повышение темпера-

туры, как правило, влечет за собой увеличение удельного сопротивления. Изменение сопротивления проводника от температуры характеризуется его температурным коэффициентом ТКR, который показывает, на какую долю увеличивается удельное сопротивление данного материала при повышении температуры на 1° С. Значения ТК R для некоторых материалов приведены в табл. 3-2.

Таблица 3-2

Удельное сопротивление ϱ и температурный коэффициент ТКR некоторых материалов

Материал	ϱ	ТКR
Алюминий	0,028	0,004
Константан	0,49	0,000004
Манганин	0,42	0,000008
Медь	0,0175	0,004
Никелин	0,44	0,00002
Нихром	1,1	0,00015
Серебро	0,016	0,0036
Сталь	0,1	0,006

При обычных температурных условиях работы радиоаппаратуры температурные отклонения величины сопротивления невелики и с ними часто не считаются. Но при выборе и изготовлении сопротивлений к измерительным приборам или определении сопротивления нагревательных приборов это обстоятельство приходится учитывать.

Величина сопротивления при температуре T, отличной от 20° С, определяется по формуле:

$$R_{\text{т}} = R_{20}\,[1 + TKR\,(T - 20°)], \tag{3-2}$$

где R_{20} — сопротивление при температуре 20° С;
$R_{\text{т}}$ — то же при температуре T °С;
ТКR — по табл. 3-2.

Соединение сопротивлений. Сопротивления могут быть соединены последовательно, параллельно или смешанно. При последовательном соединении (рис. 3-1) общее сопротивление равняется сумме отдельных сопротивлений. Если обозначить отдельные сопротивления через R_1, R_2, R_3, . . ., а общее — через R_0, то

$$R_0 = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots \tag{3-3а}$$

При последовательном включении n равных сопротивлений R

$$R_0 = nR. \tag{3-3б}$$

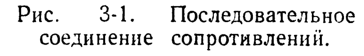


Рис. 3-1. Последовательное соединение сопротивлений.

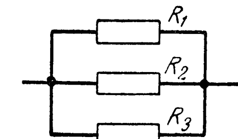


Рис. 3-2. Параллельное соединение сопротивлений.

При параллельном соединении сопротивлений (рис. 3-2) для нахождения общего сопротивления R_0 пользуются соотношением:

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots \tag{3-4а}$$

Если все сопротивления между собой равны, то для получения общего сопротивления достаточно разделить величину одного из них на число n, т. е.

$$R_0 = \frac{R}{n}. \tag{3-4б}$$

Если R_1 и R_2 означают два параллельно соединенных, но не равных между собой сопротивления, то формула (3-4а) примет вид

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \tag{3-4в}$$

Пример. Параллельно соединены сопротивления в 500, 750 и 1000 *ом*. Определить общее сопротивление. По формуле (3-4а) находим:

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{500} + \frac{1}{750} + \frac{1}{1000}.$$

Приводим дроби к общему знаменателю:

$$\frac{1}{R_0} = \frac{6}{3000} + \frac{4}{3000} + \frac{3}{3000} = \frac{13}{3000}$$

и вычисляем

$$R_0 = \frac{3000}{13} = 230 \text{ ом}.$$

Смешанных соединений сопротивлений различается два вида: 1) параллельно соединены несколько ветвей, составленных из последовательно соединенных сопротивлений (рис. 3-3, *а*), и 2) несколько последовательных участков цепи составлены из параллельно соединенных сопротивлений (рис. 3-3, *б*).

Рис. 3-3. Смешанное соединение сопротивлений.

а — последовательно соединенные сопротивления включены параллельно; *б* — параллельно соединенные сопротивления включены последовательно.

В первом случае сначала по формулам (3-3) определяют общее сопротивление каждой ветви, а затем, рассматривая каждую ветвь как одно сопротивление, по формулам (3-4) рассчитывают общее сопротивление всей цепи.

При расчете смешанного соединения по схеме рис. 3-3, *б* сначала определяют общие сопротивления каждого участка цепи, а затем, рассматривая эти участки как последовательно соединенные одиночные сопротивления, вычисляют общее сопротивление всей цепи.

Пример. Произведем расчет общего сопротивления цепи, изображенной на рис. 3-4.

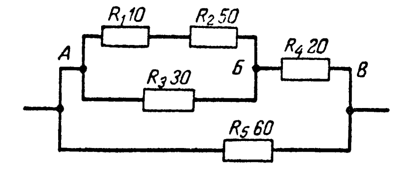


Рис. 3-4. Схема для примера расчета общего сопротивления.

Сопротивление верхней ветви между точками A—$Б$

$$R_1 + R_2 = 10 + 50 = 60 \text{ ом}.$$

Общее сопротивление обеих ветвей между точками A—$Б$

$$\frac{60R_3}{60 + R_3} = \frac{60 \cdot 30}{60 + 30} = \frac{1800}{90} = 20 \text{ ом}.$$

Полное сопротивление верхней ветви A—$Б$—$В$

$$20 + R_4 = 20 + 20 = 40 \text{ ом}.$$

Общее сопротивление всей цепи

$$\frac{40 \cdot R_5}{40 + R_5} = \frac{40 \cdot 60}{40 + 60} = \frac{2400}{100} = 24 \text{ ом}.$$

Первый закон Кирхгофа. *В каждой узловой точке цепи сумма входящих в нее токов равняется сумме выходящих из нее токов.* Первый закон Кирхгофа, примененный, например, к параллельному соединению двух сопротивлений (рис. 3-5), гласит: общий ток I_0 в цепи равен сумме отдельных токов в ветвях I_1 и I_2, т. е. $I_0 = I_1 + I_2$. Вообще для любого разветвления

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3 + \dots \qquad (3\text{-}5)$$

Рис. 3-5. Схема, поясняющая первый закон Кирхгофа.

Токи отдельных ветвей относятся между собой обратно пропорционально их сопротивлениям, т. е. если параллельно соединенные сопротивления обозначить через R_1 и R_2, а токи в них соответственно через I_1 и I_2, то

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}. \qquad (3\text{-}6)$$

Законом разветвления тока приходится практически пользоваться, например, при расчете шунтов к амперметрам.

Пример. Миллиамперметр с пределами измерения до 1 *ма* обладает внутренним сопротивлением $R = 6$ *ом*. Подобрать к нему шунт (параллельно приключенное сопротивление $R_ш$), который расширил бы пределы измерения до 10 *ма*.

Определяем ток через шунт $I_ш$. Так как ток через прибор $I_1 = 1$ *ма*, а общий ток через прибор и шунт $I_0 = 10$ *ма*, то $I_ш = I_0 - I_1 = 10 - 1 = 9$ *ма*. Подставляя в формулу (3-6) известные величины, получаем

$$\frac{R}{R_ш} = \frac{I_ш}{I_1}, \text{ т. е. } \frac{6}{R_ш} = \frac{9}{1},$$

откуда

$$R_ш = \frac{1 \cdot 6}{9} = 0{,}667 \text{ ом}.$$

Закон Ома. Важнейшим законом электротехники является закон Ома. Применительно к участку электрической цепи постоянного тока (рис. 3-6) он формулируется

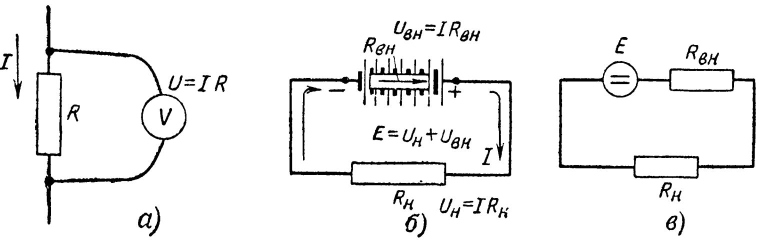


Рис. 3-6. Закон Ома для участка (*а*), для всей цепи (*б*) и схема с эквивалентным генератором (*в*).

следующим образом: *падение напряжения на участке цепи прямо пропорционально сопротивлению этого участка и току*, что может быть записано в виде:

$$U = IR, \qquad (3\text{-}7)$$

где U — напряжение, *в*;
R — сопротивление, *ом*;
I — ток, *а*.

Примеры. 1. Насколько будет понижено напряжение на аноде лампы, если в цепь анода ввести развязывающий фильтр с сопротивлением $R = 20$ *ком*, а анодный ток $I = 1{,}7$ *ма*?

По формуле (3-7) находим

$$U = 1{,}7 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^3 = 34 \text{ в}.$$

2. Каков катодный ток лампы, если падение напряжения на сопротивлении, включенном в цепь катода $R = 300$ *ом*, составляет $U = 2{,}4$ *в*?

Преобразуя формулу (3-7) к виду

$$I = \frac{U}{R}, \qquad (3\text{-}7а)$$

находим

$$I = \frac{2{,}4}{300} = 0{,}008\,а = 8 \text{ ма}.$$

3. Рассчитать величину добавочного сопротивления в цепи накала ламп приемника универсального питания при условии, что оно должно «гасить» 60 *в*, а ток накала составляет 0,3 *а*.

Для решения этой задачи формулу (3-7) надо привести к виду

$$R = \frac{U}{I}. \qquad (3\text{-}7б)$$

Тогда

$$R = \frac{60}{0{,}3} = 200 \text{ ом}.$$

Не менее важной является формулировка закона Ома для всей цепи постоянного тока (рис. 3-6, *б* и *в*): *ток в замкнутой цепи прямо пропорционален э. д. с., действующей в этой цепи, и обратно пропорционален полному сопротивлению цепи.* Это может быть записано в следующем виде:

$$I = \frac{E}{R_{вн} + R_н}, \qquad (3\text{-}8)$$

где I — величина тока;
E — э. д. с.;
$R_{вн}$ — внутреннее сопротивление источника тока;
$R_н$ — сопротивление нагрузки.

Примеры. 1. Какой ток отдаст батарея, обладающая э. д. с. 6,1 *в* и внутренним сопротивлением 10 *ом*, при подключении к ней сопротивления 50 *ом*?

$$I = \frac{6{,}1}{10 + 50} = 0{,}102 \; а = 102 \text{ ма}.$$

2. Определить внутреннее сопротивление выпрямителя, если известно напряжение на его выходе в отсутствии нагрузки $E = 150$ *в* и при нагрузке сопротивлением $R_н = 1$ *ком* $U = 100$ *в*.

Под нагрузкой ток выпрямителя составляет по закону Ома для участка цепи (3-7а)

$$I = \frac{U}{R_н} = \frac{100}{1000} = 0{,}1 \; а.$$

Таким образом известны величины E, I, $R_н$, а требуется найти $R_{вн}$. Очевидно, для этого надо воспользоваться формулой закона Ома для всей цепи (3-8), приведенной к виду

$$E = IR_{вн} + IR_н, \qquad (3\text{-}8а)$$

откуда

$$R_{вн} = \frac{E - IR_н}{I} = \frac{E}{I} - R_н;$$

$$R_{вн} = \frac{150}{0,1} - 1000 = 500 \ ом.$$

Правила размерностей позволяют производить вычисления по формулам закона Ома при подстановке входящих в них величин не только в основных единицах, но и в следующих сочетаниях:

напряжение, э. д. с.	ток	сопротивление
в	*ма*	*ком*
в	*мка*	*Мом*
мв	*ма*	*ом*

Так, например, в последнем примере можно вычислять без перехода к основным единицам:

$$R_{вн} = \frac{150\ (в)}{100\ (ма)} - 1\ (ком) = 0,5\ ком$$

Делитель напряжения. Очень часто в целях понижения напряжения применяют схему делителя (рис. 3-7, *а*),

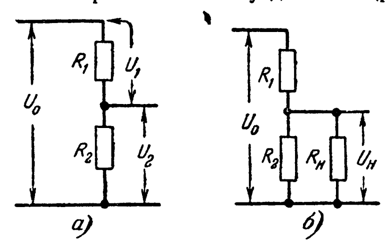


Рис. 3-7. Делители напряжения.
а — ненагруженный; *б* — нагруженный.

состоящую из двух сопротивлений (R_1 и R_2), которые обычно именуют плечами делителя. Согласно закону Ома, напряжения, падающие на плечах делителя, прямо пропорциональны их сопротивлениям:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{R_1},$$

а также

$$\frac{U_2}{U_0} = \frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

откуда выходное напряжение ненагруженного делителя

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_0. \tag{3-9}$$

Ненагруженным делитель можно считать в случае, когда к нему либо ничего не подключено, либо присоединено сопротивление, во много раз превышающее сопротивление выходного плеча (на рис. 3-7, *б* $R_н \gg R_2$).

В большинстве случаев, однако, от делителя отбирается заметный ток, соизмеримый с током самого делителя, причем соотношение падений напряжения изменяется. Тогда можно пользоваться теми же формулами, но вместо R_2 в них надо подставлять результирующее сопротивление параллельного соединения R_2 и $R_н$:

$$R_{2н} = \frac{R_2 R_н}{R_2 + R_н}.$$

При этом формула (3-9) принимает вид

$$U_{2н} = \frac{R_{2н}}{R_1 + R_{2н}} U_0. \tag{3-9а}$$

Пример. На ненагруженном делителе напряжения, состоящем из сопротивлений $R_1 = 75$ *ком* и $R_2 = 25$ *ком*, присоединенном к источнику напряжения 100 *в*, измеряется напряжение U_2 вольтметром, обладающим сопротивлением 50 *ком*. Какое напряжение показывает вольтметр?

Присоединение вольтметра нагружает делитель, поэтому определим сначала величину

$$R_{2н} = \frac{25 \cdot 50}{25 + 50} = 16,7\ ком,$$

а затем по формуле (3-9а) найдем

$$U_{2н} = \frac{16,7}{75 + 16,7} 100 = 18,2\ в.$$

Схема моста. В измерительной технике часто применяются соединения по схеме моста. Схема эта

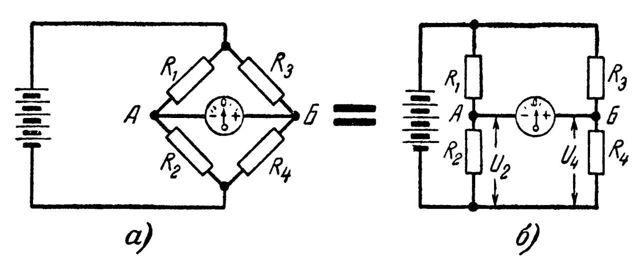


Рис. 3-8. Мост сопротивлений.

представляет собой параллельное соединение двух пар сопротивлений, соединенных последовательно, так что получаются четыре узловые точки (рис. 3-8, *а*). К двум противоположным узлам подключается источник тока, а к двум другим (в диагональ моста) — нагрузочное сопротивление, например измерительный прибор, а при переменном токе — телефон или другой указатель тока.

Представим себе схему моста как два параллельно включенных делителя напряжения (рис. 3-8, *б*). Пусть отношения сопротивлений каждого делителя одинаковы, т. е. $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$.

Поскольку отношения сопротивлений плеч обоих делителей равны, напряжение делится каждым из них тоже в одинаковом отношении. Следовательно, точки *А* и *Б* находятся под одинаковым потенциалом, и если между ними включить измерительный прибор, то он не покажет никакого тока. Мост, как говорят, сбалансирован. Таким образом, условием баланса является равенство

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}. \tag{3-10а}$$

В таком состоянии моста можно одно из его сопротивлений определить по трем остальным, например:

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_4}, \tag{3-10б}$$

где через R_x обозначено определяемое R_1.

Этим свойством моста пользуются для определения величины неизвестного сопротивления, которое включают в мост в качестве одного из его плеч, и, подбирая осталь-

ные плечи из известных сопротивлений, добиваются баланса. Такое измерение обеспечивает очень высокую точность, ибо оно не зависит от колебаний напряжения и других факторов, одинаково влияющих на работу обоих делителей моста.

В соответствии с тем, какие детали образуют плечи моста, различаются мосты сопротивлений (рис. 3-8, *а*), емкостей, индуктивностей и др.

Работа и мощность постоянного тока. Прохождение электрического тока по проводнику сопряжено с затратой определенного количества энергии. Мерой количества энергии, затрачиваемой в единицу времени, является мощность:

$$P=\frac{A}{t}, \qquad (3\text{-}11)$$

где P — мощность;
A — количество затраченной энергии (работа) за время t.

По этой формуле, приведенной к виду

$$A = Pt, \qquad (3\text{-}11а)$$

можно рассчитывать затрату энергии с целью определения стоимости эксплуатации электрооборудования.

Пример. Сколько стоит электроэнергия, израсходованная на питание телевизора в течение месяца, если потребляемая им мощность составляет 200 *вт*, стоимость 1 *квт·ч* равна 4 коп., а телевизор ежедневно включался на 4 *ч*?

Определим полное количество часов работы телевизора в течение месяца:

$$4\cdot 30 = 120 \text{ ч}.$$

Количество израсходованной электроэнергии равно

$$200\cdot 120 = 24\,000 \text{ вт·ч} = 24 \text{ квт·ч}.$$

Таким образом стоимость израсходованной электроэнергии будет:

$$24\cdot 4 = 96. \text{ коп}.$$

Мощность в электрической цепи постоянного тока однозначно связана с сопротивлением этой цепи и проходящим по ней током:

$$P = I^2R, \qquad (3\text{-}12)$$

где I — ток, R — сопротивление.

Произведя подстановки с помощью закона Ома, можно также получить:

$$P = UI \qquad (3\text{-}12а)$$

и

$$P=\frac{U^2}{R}, \qquad (3\text{-}12б)$$

где U — напряжение на концах цепи с сопротивлением R.

Примеры 1. Сопротивление потребляет мощность 100 *вт* при напряжении 220 *в* постоянного тока. Как велико это сопротивление и какую мощность оно будет потреблять при напряжении 110 *в*?

Преобразуя формулу (3-12б), определяем, что $R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484$ *ом*. Затем по формуле (3-12б) находим $P = \frac{110^2}{484} = 25$ *вт*.

2. Два сопротивления включены последовательно. В одном из них $R_1 = 10$ *ом* расходуется мощность $P_1 = 25$ *вт*. В другом сопротивлении R_2 расходуется мощность $P_2 = 15$ *вт*. Найти величину второго сопротивления R_2.

На основании формулы (3-12) можно написать

$$P_1 = I_1^2R_1 \text{ и } P_2 = I_2^2R_2$$

или

$$\frac{P_1}{R_1} = I_1^2 \text{ и } \frac{P_2}{R_2} = I_2^2,$$

где I_1 и I_2 — токи в данных сопротивлениях R_1 и R_2.

Поскольку эти сопротивления включены последовательно, $I_1 = I_2$ и значит

$$\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2}, \qquad (3\text{-}12в)$$

откуда

$$R_2 = \frac{R_1P_2}{P_1},$$

т. е.

$$R_2 = \frac{10\cdot 15}{25} = 6 \text{ ом}.$$

Если не вся подводимая ($P_{подв}$) к цепи мощность расходуется в ней полезно ($P_{полез}$), то говорят о коэффициенте полезного действия (к. п. д.) η цепи, источника и т. п.

$$\eta = \frac{P_{полез}}{P_{подв}}. \qquad (3\text{-}13)$$

Так как к. п. д. всегда меньше единицы, то его обычно выражают в процентах.

Пример. От источника с напряжением 6 *в* питается лампочка на 3,5 *в* и 0,84 *вт*. Для погашения излишка напряжения последовательно с ней включено сопротивление R. Определить величину этого сопротивления, мощность, поглощаемую им, и к. п. д. цепи.

Излишек напряжения $U_{из} = 6 - 3{,}5 = 2{,}5$ *в*. Ток в цепи находится из формулы (3-12а), как

$$I = \frac{P}{U} = \frac{0{,}84}{3{,}5} = 0{,}24 \text{ а}.$$

Тогда величина гасящего сопротивления

$$R = \frac{U_{из}}{I} = \frac{2{,}5}{0{,}24} = 10{,}4 \text{ ом}.$$

Мощность, поглощаемая им,

$$P_1 = U_{из}\cdot I = 2{,}5\cdot 0{,}24 = 0{,}6 \text{ вт},$$

а к. п. д.

$$\eta = \frac{P}{P+P_2} = \frac{0{,}84}{0{,}84+0{,}6} = 0{,}58, \text{ или } 58\%.$$

Очень важными вопросами являются режимы использования источников тока, при которых достигается максимальное значение к. п. д. или наибольшая «отдача».

На основании закона Ома для всей цепи любой реальный источник тока можно представить эквивалентным генератором (рис. 3-6, *в*), состоящим из последовательно соединненных генератора E с нулевым внутренним сопротивлением и отдельного сопротивления $R_{вн}$. Нагружая такой генератор сопротивлением $R_н$, в зависимости от соотношения $R_н$ и $R_{вн}$ можно получить резко отличные режимы работы источника тока.

Если $R_н \gg R_{вн}$, то полное сопротивление цепи практически равно сопротивлению нагрузки. При этом изменение величины $R_н$ меняет ток в цепи, но почти не сказывается на напряжении, которое оказывается все время весьма близким к значению э. д. с., т. е.

$$U_{макс} = E.$$

Такой режим использования источника называют **режимом генератора** напряжения. Он является основным режимом работы батарей и аккумуляторов. В режиме генератора напряжения к. п. д. очень близок к 100%, однако мощность, отдаваемая во внешнюю цепь, невелика, ибо от источника отбираются небольшие токи.

Если взять малые сопротивления нагрузки $R_н \ll R_{вн}$, то полное сопротивление цепи практически будет равно внутреннему сопротивлению источника $R_{вн}$. При этом напряжение на нагрузке составляет малую долю э. д. с. источника и сильно зависит от сопротивления $R_н$, а ток в цепи не зависит от $R_н$ и очень близок к значению тока короткого замыкания:

$$I_{макс} = \frac{E}{R_{вн}}.$$

Такой режим называют режимом генератора тока. Он широко используется в усилителях на пентодах, внутреннее сопротивление которых обычно во много раз превышает сопротивление нагрузки. При этом к. п. д. источника очень мал (единицы процентов и меньше), а мощность, отбираемая от источника во внешнюю цепь, также оказывается незначительной.

Наконец, третьим режимом, широко употребляемым в схемах с транзисторами, является режим согласования, характеризующийся равенством сопротивления нагрузки внутреннему сопротивлению генератора ($R_н = R_{вн}$). При этом напряжение на нагрузке равно половине э. д. с. ($U = 0{,}5\,E$), а ток — половине тока короткого замыкания ($I = 0{,}5\ I_{макс}$); мощность же, отбираемая внешней цепью, максимальна и равна

$$P_{макс} = \frac{E^2}{4R_{вн}}. \tag{3-14}$$

При этом к. п. д. — источника составляет 50%.

Максимальную мощность $P_{макс}$, которую способен «отдать» источник в нагрузку в режиме согласования, часто называют также располагаемой мощностью генератора $P_{г.\ расп}$.

П р и м е р. Источник тока с неизвестными параметрами был испытан следующим образом. На зажимах ненагруженного источника ламповым вольтметром измерено напряжение 13 *в*. При замыкании зажимов накоротко через амперметр, измерен ток короткого замыкания, составляющий 0,2 *а*. Определить сопротивление нагрузки, при котором источник отдаст наибольшую мощность $P_{макс}$ и величину этой мощности, а также к. п. д. при нагрузке источника сопротивлением 100 *ом*.

Напряжение, измеренное высокоомным ламповым вольтметром, можно считать равным э. д. с. источника, т. е. $E = 13$ *в*. Из опыта короткого замыкания следует, что внутреннее сопротивление источника

$$R_{вн} = \frac{E}{I_{макс}} = \frac{13}{0{,}2} = 65\ ом.$$

Такое же значение должно иметь сопротивление нагрузки при необходимости отобрать максимальную мощность.

Согласно формуле (3-14)

$$P_{макс} = \frac{13^2}{4 \cdot 65} = 0{,}65\ вт.$$

Основываясь на соотношении (3-12), полную мощность в цепи ($P_{подв}$) представим в виде

$$P_{подв} = I^2(R + R_{вн}),$$

а мощность, расходуемую в нагрузке ($P_{полез}$) —

$$P_{полез} = I^2R.$$

Тогда к. п. д. можно подсчитать по формуле

$$\eta = \frac{P_{полез}}{P_{подв}} = \frac{I^2R}{I^2(R + R_{вн})} = \frac{R}{R + R_{вн}} = \frac{100}{165} = 0{,}605,$$

т. е. 60,5%.

Допустимая нагрузка. Электрический ток, проходя по проводнику, нагревает его. Чем больше ток и чем меньше при данном токе площадь сечения провода, тем сильнее нагревается провод. Чтобы нагрев приборов током не был бы очень сильным, площадь сечения проводов должна выбираться в соответствии с нагрузочным током. Нагревание прибора в значительной степени зависит и от его конструкции: чем лучше условия охлаждения, тем меньше прибор будет нагреваться.

При расчетах проводов пользуются допустимой в разных случаях плотностью тока, т. е. допустимым значением тока на 1 *мм*² площади сечения провода. В наиболее распространенных случаях радиоремонтной практики руководствуются следующими предельными значениями плотности тока γ:

1. Для реостатов и балластных проволочных сопротивлений, выполненных на фарфоровых или керамических каркасах одним слоем голой проволоки, $\gamma = 6 \div 10$ *а/мм*².
2. Для обмоток электромагнитов, реле, звонков, рассчитанных на кратковременные включения, $\gamma = 4 \div 5$ *а/мм*².
3. Для обмоток трансформаторов мощностью до 75 *вт*, а также для обмоток дросселей, реле и проволочных сопротивлений с многослойной намоткой (например, сопротивления сеточного смещения), рассчитанных на длительное включение, $\gamma = 2 \div 3$ *а/мм*², то же мощностью $75 \div 300$ *вт* $\gamma = 1{,}5$ *а/мм*².
4. Для шунтов и добавочных сопротивлений в измерительной аппаратуре $\gamma \leqslant 1$ *а/мм*².
5. Для нагревательных приборов в зависимости от материала проволоки, конструкции прибора и условий работы $\gamma = 8 \div 20$ *а/мм*².

Определение диаметра провода на заданный ток при допустимой плотности тока γ производят по формуле

$$d = 1{,}13\sqrt{\frac{I}{\gamma}}, \tag{3-15}$$

где d — необходимый диаметр провода, *мм*;
I — ток, *а*;
γ — плотность тока, *а/мм*².

П р и м е р. Какой диаметр должна иметь проволока для обмотки трансформатора мощностью 40 *вт*, если ток в этой обмотке равен 0,3 *а*?

Выбираем (согласно п. 3) плотность тока $\gamma = 2$ *а/мм*². По формуле (3-14) находим

$$d = 1{,}13\sqrt{\frac{0{,}3}{2}} = 0{,}44\ мм.$$

При выборе для радиоаппаратуры непроволочных сопротивлений руководствуются мощностью, рассеиваемой на сопротивлении при работе аппарата. Непроволочные сопротивления выпускаются на различные нормально рассеиваемые ими мощности (0,25, 0,5, 1, 2 *вт* и больше). При установке сопротивления в аппарат надо следить за тем, чтобы выделяемая в сопротивлении мощность не превышала норму. Подсчет рассеиваемой в сопротивлении мощности производят по формулам (3-12а), (3-12б) или (3-12).

П р и м е р. На какую мощность должно быть рассчитано сопротивление в 0,1 *Мом* = 100 000 *ом*, если проходящий по нему ток равен 3 *ма* = 0,003 *а*?

По формуле (3-12) находим $P = 0{,}003^2 \cdot 100\,000 = 0{,}9$ *вт*.

Поскольку ближайшими нормированными мощностями сопротивлений являются 0,5 и 1 *вт*, выбираем сопротивление на мощность 1 *вт*.

Если под руками не имеется сопротивления на необходимую нагрузку, то прибегают к соединению нескольких сопротивлений, причем, чтобы не усложнять расчетов, рекомендуется соединять одинаковые сопротивления.

Проволочные сопротивления, рассчитанные на меньший ток, чем надо, соединяют параллельно, причем столько сопротивлений надо соединить, во сколько раз допустимый для них ток меньше требующегося. Например, если ток в цепи составляет 0,3 *а*, а в нашем распоряжении имеются сопротивления, рассчитанные на ток в 0,1 *а*, то для включения в указанную цепь надо соединить параллельно три таких сопротивления. Но чтобы при этом их общее сопротивление было равно заданному, величина каждого из соединяемых сопротивлений должна быть во столько раз больше заданной, сколько сопротивлений соединяются параллельно. Если в приведенном примере требуется сопротивление на 150 *ом*, то каждое из трех соединяемых сопротивлений должно иметь 450 *ом*.

Если при намотке проволочных сопротивлений не окажется под руками провода на необходимую нагрузку током, то намотку можно производить более тонким проводом, но вести ее сразу в два или три провода. При намотке в два провода диаметр проводов может быть взят в 1,4 раза меньше против нормы, а при намотке в три провода — в 1,8 раза.

Тепловое действие тока. Электрическая мощность, рассчитываемая по формулам (3-12) и (3-12б), расходуется полностью на нагрев сопротивления R. Количество тепла, выделяемого в течение промежутка времени t, равно работе тока за это время:

$$Q = 0{,}24\ I^2Rt,$$

где количество тепла Q получается в малых калориях при подстановке I, R и t в единицах системы МКСА, а коэффициент «0,24» представляет собой электрический эквивалент тепла (1 *вт . сек* электрической энергии равноценна 1 малой калории тепла).

Магнитное действие тока. Важнейшим техническим применением магнитного действия тока является преобразование энергии электрического тока в механическое движение. На этом принципе строятся многие электроакустические приборы (громкоговорители, телефоны), электроизмерительные приборы, реле и пр. Обязательной частью таких приборов является электромагнит (катушка со стальным сердечником) или соленоид (катушка без сердечника). В некоторых типах таких приборов бывает по две катушки. Кроме того, в электромагнитных приборах используются магнитопроводы, постоянные магниты и специальные проводники для индуктированных токов.

Какая часть прибора сделана неподвижной и что применено в качестве подвижной части (якоря или ротора), зависит от вида используемого в приборе электромагнитного явления и от конструкции прибора.

Проявляющаяся при включении тока сила механического взаимодействия подвижной части прибора с неподвижной зависит от конструкции и материалов магнитопровода и от числа ампервитков.

При неизменной конструкции магнитопровода сила электромагнита определяется только числом ампервитков. Чем больше ампервитки, тем сильнее механическое действие электромагнитной обмотки.

В случае ремонта любого электромагнитного прибора при перемотке надо точно выдерживать моточные данные (число витков, тип и диаметр провода). Даже небольшое отступление от прежнего диаметра проволоки может заметно изменить сопротивление обмотки, а это, в свою очередь, приведет к изменению тока и числа ампервитков, в результате чего нарушится нормальная работа прибора. В случаях, когда измерительный прибор, реле или другое устройство с электромагнитом требуется приспособить для работы при ином напряжении или токе, нет нужды переделывать весь прибор. В большинстве случаев для этого бывает достаточно перемотать обмотку прибора на новое напряжение с сохранением прежнего числа ампервитков, т. е. ампервитки до перемотки должны равняться ампервиткам после перемотки, или

$$I_1w_1 = I_2w_2, \qquad (3\text{-}16)$$

где I_1 и w_1 — ток и число витков до перемотки;
I_2 и w_2 — то же после перемотки.

Отсюда непосредственно находят новое число витков, если задан новый ток:

$$w_2 = \frac{I_1}{I_2}\,w_1 \qquad (3\text{-}16а)$$

или, вводя (в целях упрощения формул) коэффициент пересчета

$$k = \frac{I_1}{I_2}, \qquad (3\text{-}17)$$

пользуются формулой

$$w_2 = kw_1. \qquad (3\text{-}17а)$$

Заметим вытекающее из этой формулы выражение коэффициента пересчета

$$k = \frac{w_2}{w_1}. \qquad (3\text{-}17б)$$

Если пересчет обмотки надо произвести не по току, а по напряжению, при котором работает электромагнит, то коэффициент k находится по формуле

$$k = \frac{U_2}{U_1}, \qquad (3\text{-}17в)$$

где U_1 и U_2 — соответственно прежнее и новое напряжения на концах обмотки.

В обоих случаях диаметр провода новой обмотки должен быть равен

$$d_2 = \frac{d_1}{\sqrt{k}}, \qquad (3\text{-}18)$$

где d_1 — диаметр провода прежней обмотки.

Если требуется определить сопротивление R_2 новой обмотки, то, зная сопротивление R_1 прежней обмотки, пользуются формулой

$$R_2 = R_1 \cdot k^2. \qquad (3\text{-}19)$$

Эта формула верна только в том случае, если для новой обмотки взят провод диаметром, определенным по формуле (3-18). В общем же случае

$$R_2 = R_1 \frac{w_2}{w_1}\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2. \qquad (3\text{-}19а)$$

Заметим еще, что формулы (3-19) и (3-19а) справедливы лишь при условии, что новая намотка выполняется проводом из того же металла, из какого был провод прежней обмотки.

Пример. Электромагнитный амперметр со шкалой на 6 *а* имеет катушку, состоящую из 16 витков провода диаметром 1,8 *мм*. Как перемотать ее, чтобы стрелка прибора отклонялась на всю шкалу при токе 1,5 *а*?

Определим по формуле (3-17) необходимый коэффициент пересчета

$$k = \frac{I_1}{I_2} = \frac{6}{1{,}5} = 4$$

и по формуле (3-17а) новое число витков

$$w_2 = w_1 k = 16 \cdot 4 = 64 \text{ витка}.$$

Диаметр провода для новой обмотки найдем по формуле (3-18):

$$d_2 = \frac{d_1}{\sqrt{k}} = \frac{1{,}8}{\sqrt{4}} = 0{,}9 \ мм.$$

3-3. Законы цепи переменного тока

Синусоидальный ток и его характеристики. Из различных форм переменных токов особенно важен ток синусоидальный. Характеристиками синусоидального тока являются период (частота) и амплитуды напряжения и тока (или их действующие значения).

Период и частота. Периодом называется время в течение которого происходит одно полное изменение тока или напряжения (рис. 3-9). Количество периодов в 1 *сек*,

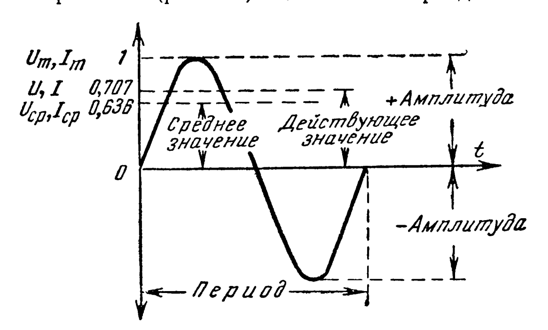


Рис. 3-9. Синусоидальный ток (напряжение), его период, амплитуда, действующее и среднее значения.

называют частотой. Таким образом, зная длительность одного периода, можно вычислить частоту, и наоборот,

$$f = \frac{1}{T} \text{ или } T = \frac{1}{f}, \qquad (3\text{-}20)$$

где f — частота, *гц*;
T — период, *сек*.

Пример. Период $T = 0{,}02$ *сек*. Определить частоту f. Согласно формуле (3-20), находим

$$f = \frac{1}{0{,}02} = 50 \ гц.$$

Амплитуда. Амплитудами переменного тока или напряжения считают их максимальные значения, которые они достигают дважды за каждый период. Амплитудное значение тока обычно обозначают символом I_m, напряжения U_m и э. д. с. E_m. Различают положительные и отрицательные амплитуды, причем по абсолютному значению они равны и отличаются только полярностью (направлением).

Хотя амплитудные значения и применяются в некоторых радиотехнических расчетах, но в ряде случаев удобнее пользоваться понятием действующих значений их. *Действующие значения* тока и напряжения соответствуют величине постоянного тока, выделяющего в одном и том же активном сопротивлении такое же количество тепла. Действующие значения I и U синусоидального тока и напряжения равны

$$I = 0{,}707 I_m; \quad U = 0{,}707 U_m. \qquad (3\text{-}21)$$

Пример. С помощью откалиброванного в амплитудных значениях осциллографа измерена двойная амплитуда напряжения 3 *в*. Найти действующее значение этого напряжения.

Очевидно, амплитуда измеряемого напряжения равна $\frac{3}{2} = 1{,}5$ *в*, тогда действующее значение будет $1{,}5 \cdot 0{,}707 = 1{,}06$ *в*.

Среднее значение. Средним значением синусоидального тока (напряжения) называется среднеарифметическое всех его значений, которые он принимает в течение одного полупериода. Оно равно 0,636 амплитудного или, что одно и то же, 0,9 действующего значения, т. е.

$$\left.\begin{aligned} I_{ср} &= 0{,}636 I_m = 0{,}9 I; \\ U_{ср} &= 0{,}636 U_m = 0{,}9 U. \end{aligned}\right\} \qquad (3\text{-}22)$$

Среднее значение синусоидального тока (напряжения) за период равно нулю, так как на протяжении первого полупериода ток имеет одно направление, а на протяжении второго полупериода — обратное. Однако в случае двухполупериодного выпрямления переменного тока в постоянный ток имеет одинаковое направление, и величина выпрямленного тока определяется именно среднеарифметическим всех мгновенных значений.

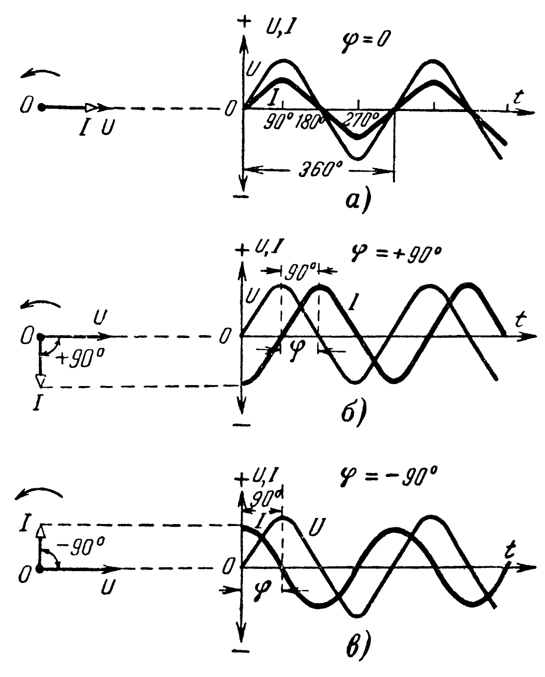


Рис. 3-10. Сдвиг фаз.

При описании цепей переменного тока, когда говорят просто о напряжении или токе, не оговаривая амплитудных, действующих или средних значений, всегда имеют в виду их действующие значения.

Сдвиг фаз. Когда переменная э. д. с. и вызванный ею в замкнутой цепи ток проходит через соответствующие мгновенные значения одновременно (рис. 3-10, *а*), то говорят, что ток и напряжение находятся в фазе или синфазны. Когда напряжение достигает определенного значения в период раньше или позднее, чем достигает соответствующего значения ток, то говорят, что ток и напряжение сдвинуты по фазе. Ток отстает от напряжения, если он достигает своего максимального значения после достижения такового напряжением (рис. 3-10, *б*), и ток опережает напряжение, если он достигает максимального значения раньше достижения такового напряжением (рис. 3-10, *в*).

Сдвиг фаз может быть выражен в градусах. Период принимают равным 360° и ту долю периода, на которую график тока сдвинут по отношению к графику напряжения, выражают в градусах и называют углом сдвига фаз (φ). Различают положительный сдвиг фаз, когда изменения тока запаздывают от соответствующих изменений напряжения (рис. 3-10, *б*), и отрицательный, когда ток опережает напряжение (рис. 3-10, *в*).

Для наглядного изображения фазовых соотношений часто прибегают к представлению переменных токов и напряжений при помощи векторов — стрелок, длина которых в определенном масштабе соответствует амплитуде, а направление — фазе тока или напряжения.

Токи и напряжения, показанные на рис. 3-10 в виде функций времени, представлены в векторной форме слева от графиков. Угол между векторами непосредственно указывает разность фаз между током и напряжением.

Сопоставляя временные графики с векторными диаграммами, нетрудно заметить, что проекции концов векторов на вертикальную ось графика соответствуют мгновенным значениям тока и напряжения в начальный момент времени ($t = 0$).

Если представить векторы тока и напряжения жестко скрепленными в точке 0 и вращающимися вокруг нее против часовой стрелки со скоростью 1 оборот за 1 период переменного тока, то проекции концов векторов на вертикальную ось временного графика в любой момент времени будут соответствовать мгновенным значениям выражаемых ими тока и напряжения.

Можно говорить о сдвиге фаз не только между током и напряжением в одной цепи, но и между двумя токами или между двумя напряжениями, действующими в двух цепях, если в сравниваемых цепях частота тока одинакова, а форма синусоидальная.

Активное сопротивление в цепи переменного тока. Цепи, не содержащие катушек или конденсаторов, оказывают переменным токам низких частот практически такое же сопротивление, как и постоянному току, определяющееся одним активным сопротивлением проводов. Напряжение, падающее на активном сопротивлении при прохождении по нему переменного тока, в каждое мгновение равно произведению iR, где i — значение тока в это мгновение, т. е. напряжение изменяется в соответствии с изменением тока или, как говорят, находится в фазе с током (рис. 3-10, *а*).

Все расчеты такой цепи переменного тока производят по формулам расчетов цепи постоянного тока, подставляя в них действующие значения переменных тока или напряжения. Хотя любая электрическая цепь обладает определенной индуктивностью и емкостью, при низких частотах, ошибка при таком расчете без учета их влияния практического значения не имеет.

Но по мере повышения частоты тока даже у прямых проводников сопротивление может существенно измениться.

Во-первых, на высоких частотах начинает проявляться поверхностный эффект, состоящий в том, что под действием собственного магнитного поля ток вытесняется на поверхность проводника, причем действующее сечение провода уменьшается и его сопротивление для токов высоких частот оказывается увеличенным. Сопротивление медного провода с учетом поверхностного эффекта на высокой частоте f можно приближенно оценить с помощью формулы

$$R = 83 \cdot 10^{-3} \frac{l\sqrt{f}}{d}, \qquad (3\text{-}23)$$

где f — частота, *Мгц*;
d — диаметр провода, *мм*;
l — длина провода, *м*;
R — сопротивление, *ом*.

Именно в связи с наличием поверхностного эффекта для УКВ антенны вместо сплошных проводников применяют трубки. Поверхностный эффект начинает проявляться уже на частотах порядка десятков килогерц и для предотвращения падения добротности длинноволновых и средневолновых катушек их иногда наматывают многожильным проводом с изолированными жилками — так называемым литцендратом, причем общая поверхность у литцендрата оказывается во много раз большей, чем у одиночного провода суммарного сечения. Однако уже на коротких волнах применение литцендрата не дает желаемого эффекта, так как резко возрастают потери в изоляции.

Во-вторых, на высоких частотах даже относительно короткие проводники начинают оказывать заметное индуктивное сопротивление и емкость относительно других проводов, в связи с чем представление о характере сопротивления должно быть существенно усложнено.

Индуктивное сопротивление. Сопротивление, обусловленное индуктивностью катушки, или индуктивное сопротивление, вносимое в цепь переменного тока катушкой, обозначается символом X_L и равно в омах.

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 6{,}28 fL, \qquad (3\text{-}24)$$

где f — частота тока, *гц*;
L — индуктивность катушки, *гн*;
$\pi = 3{,}14$.

Эта формула показывает, что чем выше частота тока f, тем больше индуктивное сопротивление той же катушки. При постоянном токе, частоту изменений которого можно принять равной нулю ($f = 0$), индуктивное сопротивление катушки также равно нулю.

Пример. Дроссель обладает индуктивностью 10 *гн*. Определить его индуктивное сопротивление при частоте тока 50 *гц*.

По формуле (3-24) находим $X_L = 6{,}28 \cdot 50 \cdot 10 = 3140$ *ом*.

Переменный ток, проходящий через катушку с активным сопротивлением, значительно меньшим индуктивного сопротивления, определяется по закону Ома, если вместо активного сопротивления R подставить величину индуктивного сопротивления катушки X_L:

$$I = \frac{U}{X_L}. \qquad (3\text{-}25)$$

Пример. Определить ток в катушке с индуктивностью 25 *мгн* = 0,025 *гн* при частоте тока 100 *кгц* = 100 000 *гц*, если приложенное к ней напряжение составляет 1000 *в* (активным сопротивлением катушки можно пренебречь).

По формуле (3-24) определяем $X_L = 6{,}28 \cdot 100\,000 \times 0{,}025 = 15\,700$ *ом*. Тогда согласно формуле (3-25) ток

$$I = \frac{1000}{15700} = 0{,}064\ а = 64\ ма.$$

Из последнего примера видно, что если частота тока велика, то через катушку будет проходить очень малый ток, несмотря на высокое напряжение, прикладываемое к ней, и на ничтожно малое ее активное сопротивление; постоянный же ток при тех же условиях может исчисляться сотнями ампер.

Переменный ток, проходящий через катушку индуктивности, активным сопротивлением которой можно пренебречь ($R \ll X_L$), отстает по фазе от действующего на концах катушки напряжения на $^1/_4$ периода, т. е. в индуктивном сопротивлении между током и напряжением имеет место сдвиг фаз в 90° (рис. 3-10, *б*). Этот сдвиг фаз считается положительным.

Реальная катушка индуктивности в цепи переменного тока. Любая катушка индуктивности обладает кроме

индуктивного сопротивления еще некоторым и активным сопротивлением. При постоянном токе активное сопротивление катушки определяется лишь одним сопротивлением проволоки, которой она намотана, но при переменном токе появляются потери энергии в изоляционных материалах и в магнитном сердечнике (если таковой имеется в катушке), которые проявляют себя в увеличении активного, не вносящего сдвига фаз сопротивления. Кроме того, в связи с поверхностным эффектом увеличивается сопротивление самого провода катушки. В результате общее активное сопротивление катушки возрастает, и тем больше, чем выше частота тока.

Активное сопротивление R катушки можно считать включенным последовательно с индуктивным сопротивлением X_L (рис. 3-11). Однако при этом сопротивления R и X_L нельзя складывать арифметически, ибо они имеют различный характер: R не вызывает, а X_L вызывает сдвиг фаз между током и падающими на них напряжениями U_R и U_L. Для нахождения действительного сопротивления необходимо складывать их геометрически. Для этого вычерчивается прямоугольный треугольник, катеты которого в определенном одинаковом масштабе выражают величины R и X_L (рис. 3-11). Тогда гипотенуза этого треугольника будет выражать в том же масштабе полное сопротивление Z катушки.

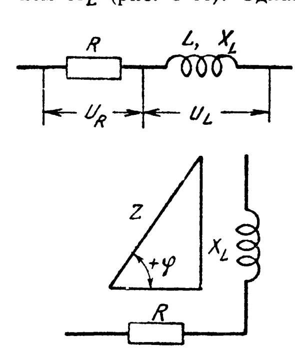


Рис. 3-11. Сопротивление реальной катушки.

На основании свойства прямоугольного треугольника находят Z в омах по формуле

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}\,. \qquad (3\text{-}26)$$

П р и м е р. Индуктивность дросселя сглаживающего фильтра выпрямителя $L = 10$ *гн*, а его активное сопротивление $R = 3000$ *ом*. Какое полное сопротивление оказывает он переменной составляющей выпрямленного тока, если частота пульсаций равна 100 *гц*?

Находим по формуле (3-24)

$$X_L = 6{,}28 \cdot 100 \cdot 10 = 6280 \text{ ом}.$$

Тогда по формуле (3-26)

$$Z = \sqrt{3000^2 + 6280^2} = 6950 \text{ ом}.$$

Коэффициент мощности и добротность катушки индуктивности. Для определения угла сдвига фаз φ в цепи с индуктивностью пользуются соотношением

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}\,. \qquad (3\text{-}27)$$

Это соотношение вытекает из треугольника сопротивлений (рис. 3-11), если углом φ считать угол, составленный гипотенузой Z и катетом R.

Вычислив cos φ, величину угла сдвига фаз φ находят по тригонометрической таблице. Однако для практических расчетов большей частью приходится пользоваться не величиной угла φ, а именно значением его косинуса.

Коэффициент мощности, как мера проявления свойств индуктивности цепью LR, указывается для силовых установок, электродвигателей и других приборов, питающихся переменным током низкой частоты. В такого рода установках наличие сдвига фаз между током и напряжением нежелательно. Поэтому чем больше cos φ, т. е. чем меньше сдвиг фаз φ, тем лучше. Отсюда вытекает стремление всячески уменьшить в таких цепях реактивное сопротивление, снизить величину индуктивности.

В катушках индуктивности, наоборот, вредны активные потери энергии и, конструируя их, стараются получить по возможности большое индуктивное и малое активное сопротивление. Поэтому мерой качества, добротности, катушек индуктивности считают отношение

$$Q_L = \frac{X_L}{R}, \qquad (3\text{-}28)$$

где Q_L — добротность катушки, измеряемая в отвлеченных единицах.

Из треугольника сопротивлений (рис. 3-11) следует, что Q_L есть не что иное, как tg φ, но хотя это и две равнозначные величины, термин «тангенс фи» не привился и заменен термином «добротность». Величину Q_L также называют м н о ж и т е л е м н а п р я ж е н и я, потому, что она равным образом определяет отношение напряжения U_L на индуктивном сопротивлении к потере напряжения на активном сопротивлении:

$$Q_L = \frac{IX_L}{IR} = \frac{U_L}{U_R}, \qquad (3\text{-}28а)$$

так как ток I одинаков в обоих сопротивлениях.

Вообще говоря, добротность катушки изменяется при изменении частоты, так как X_L и R по-разному изменяются с частотой. Но в небольшом диапазоне рабочих частот, на который рассчитывается та или иная катушка индуктивности, активное и индуктивное сопротивления изменяются примерно одинаково, так что отношение их оказывается довольно постоянной величиной. Поэтому называя величину добротности, часто не указывают определенной частоты тока, считая, что эта величина добротности достаточно точно характеризует свойства катушки во всем ее рабочем диапазоне частот.

Емкостное сопротивление, оказываемое переменному току идеальным конденсатором (без активного сопротивления), обозначается символом X_C и равно в омах

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{6{,}28 fC}, \qquad (3\text{-}29)$$

где f — частота тока, *гц*;
C — емкость конденсатора, *ф*.

Из формулы (3-29) следует, что с повышением частоты емкостное сопротивление конденсатора уменьшается.

П р и м е р ы. 1. Какое сопротивление оказывает емкость в 10 *мкф* переменному току с частотой 50 *гц*?

По формуле (3-29) находим

$$X_C = \frac{1}{6{,}28 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 320 \text{ ом}.$$

2. Определить емкостное сопротивление конденсатора в 100 *пф* при частоте 1 *Мгц*.

$$X_C = \frac{1}{6{,}28 \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10^{-12}} = 1600 \text{ ом}.$$

В любом конденсаторе имеют место активные потери энергии. Но обычно в рабочем диапазоне частот эти потери настолько малы, что ими пренебрегают и считают сопротивление конденсатора чисто емкостным. Тогда ток, проходящий по цепи конденсатора, определится по закону Ома:

$$I = \frac{U}{X_C}\,. \qquad (3\text{-}30)$$

Ток в цепи конденсатора, активными потерями которого можно пренебречь, опережает напряжение на $^1/_4$ периода, иначе говоря, сдвиг фаз здесь составляет 90° и считается отрицательным, т. е. $\varphi = -90°$ (рис. 3-10, *в*).

Реальный конденсатор в цепи переменного тока. Если активным сопротивлением, связанным с потерями энергии при высоких частотах, пренебречь нельзя, то это сопротивление можно представить включенным последовательно с идеальной емкостью, как показано на рис. 3-12. При этом полное сопротивление конденсатора определится формулой

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}. \qquad (3\text{-}31)$$

Эта формула является математическим выражением треугольника сопротивлений, изображенного на рис. 3-12.

Рис. 3-12. Сопротивление реального конденсатора.

Угол, образуемый катетом R и гипотенузой Z треугольника сопротивлений, по-прежнему представляет собой сдвиг φ между током и напряжением. Но потери в конденсаторах обычно невелики, а потому угол φ мало отличается от 90°. Поэтому для характеристики качества конденсаторов удобнее пользоваться не величиной угла φ, а отклонением его от 90°, т. е. $90° - \varphi$. Эту разность называют углом потерь и обозначают буквой $\delta = 90° - \varphi$.

Из треугольника сопротивлений (рис. 3-12) следует, что угол δ является острым углом, образуемым гипотенузой Z с катетом X_C, и определяется через тригонометрическую функцию

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R}{X_C}. \qquad (3\text{-}32)$$

Величина, обратная $\operatorname{tg} \delta$, называется добротностью или качеством конденсатора

$$Q_C = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} = \frac{X_C}{R}. \qquad (3\text{-}32a)$$

Соединение сопротивлений в цепи переменного тока. Частные случаи последовательного соединения $C - R$ и $L - R$ в цепи переменного тока были уже рассмотрены в связи с реальными катушками индуктивности и конденсаторами. При этом отмечалось то обстоятельство, что емкость и индуктивность вносят сдвиг фаз между током и напряжением. Поскольку индуктивность вносит положительный сдвиг фаз, а емкость отрицательный, нетрудно понять, что при одновременном включении в цепь и катушки и конденсатора их влияния будут вычитаться.

При последовательном соединении индуктивного и емкостного сопротивлений результирующее сопротивление равно их разности:

$$X_0 = X_L - X_C. \qquad (3\text{-}33)$$

Если $X_0 > 0$ (положительно), то цепь в целом ведет себя как индуктивность, если же $X_0 < 0$ (отрицательно), то цепь проявляет свойства емкости. Величины X_L и X_C зависят от частоты, поэтому сопротивление всей цепи будет зависеть от частоты и может оказаться на одних частотах (на более высоких) индуктивным, а на других (более низких) — емкостным.

Когда соединяются последовательно реальные катушки и конденсаторы, неизбежно оказывается введенным последовательно с емкостью и индуктивностью активное сопротивление потерь в этих деталях. При этом полное сопротивление цепи переменного тока по-прежнему определяется геометрической суммой активного и реактивного сопротивлений. Подставляя в качестве реактивного сопротивления величину X_0 из формулы (3-33), на этот раз получим:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}. \qquad (3\text{-}34)$$

Если в цепи включено последовательно несколько активных (R_1, R_2, R_3, ...), несколько индуктивных (X_{L1}, X_{L2}, X_{L3}, ...) и несколько емкостных (X_{C1}, X_{C2}, X_{C3}) сопротивлений, то в формуле (3-34) под R, X_L и X_C надо понимать сумму всех соответствующих сопротивлений.

Пример. Цепь, изображенная на рис. 3-13, состоит из генератора переменного тока Г, обладающего внутренним сопротивлением $R_г = 30$ *ом*, конденсатора C емкостью 10 *мкф*, активными потерями которого можно пренебречь, и катушки $L_к$, обладающей индуктивностью

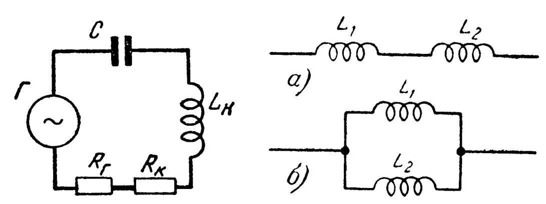


Рис. 3-13. Последовательное включение R, L и C.

Рис. 3-14. Соединение индуктивностей.

а — последовательное; *б* — параллельное.

0,6 *гн* и активным сопротивлением $R_к = 60$ *ом*. Определить полное сопротивление этой цепи, если частота тока $f = 50$ *гц*.

Определяем сначала отдельные сопротивления цепи. По формуле (3-24) находим $X_{Lк} = 6{,}28 \cdot 50 \cdot 0{,}6 \approx 190$ *ом*. Емкостное сопротивление конденсатора на 10 *мкф* при частоте 50 *гц* уже было нами подсчитано (стр. 37) — 320 *ом*. Общее активное сопротивление $R = R_г + R_к = 30 + 60 = 90$ *ом*. Тогда согласно формуле (3-34) полное сопротивление цепи

$$Z = \sqrt{90^2 + (190 - 320)^2} = 158 \text{ ом}.$$

Формулы расчета общей индуктивности при соединении нескольких катушек индуктивности совпадают с соответствующими формулами для расчета общего сопротивления:

при последовательном соединении нескольких катушек (рис. 3-14, *а*)

$$L_0 = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots, \qquad (3\text{-}35)$$

при параллельном соединении катушек (рис. 3-14, *б*)

$$\frac{1}{L_0} = \frac{1}{L_1} = \frac{1}{L_2} + \cdots, \qquad (3\text{-}36)$$

для двух параллельно соединенных катушек

$$L_0 = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}. \qquad (3\text{-}36a)$$

Однако эти формулы верны лишь в случае отсутствия между соединенными катушками индуктивной связи (см. стр. 42).

Поскольку емкостное сопротивление обратно пропорционально емкости конденсатора, то формулы расчета общей емкости ряда соединенных между собой конденсаторов оказываются противоположными в сравнении с формулами соединений сопротивлений:

при параллельном соединении конденсаторов (рис. 3-15, *б*) общая емкость

$$C_0 = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots, \qquad (3\text{-}37)$$

при последовательном соединении (рис. 3-15, *а*)

$$\frac{1}{C_0} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots, \qquad (3\text{-}38)$$

в случае двух последовательно соединенных конденсаторов

$$C_0 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}. \qquad (3\text{-}38а)$$

При параллельном и смешанном соединении разнородных реактивных сопротивлений и активных расчет цепей переменного тока существенно осложняется. Законы Кирхгофа оказываются верными только для мгновенных значений токов; измеряемые обычными приборами действующие значения токов в точках разветвлений цепи перестают удовлетворять уравнению $I_0 = I_1 + I_2$; арифметическая сумма падений напряжений на ряде участков неразветвленной цепи тоже перестает равняться полному напряжению на концах этой цепи. Однако сохраняет силу закон Ома, запись которого несколько видоизменяется.

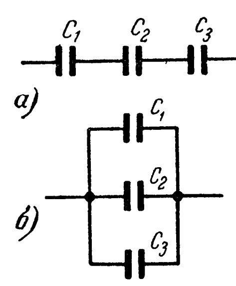


Рис. 3-15. Соединение емкостей.

а — последовательное, *б* — параллельное.

Закон Ома для цепи переменного тока.

$$I = \frac{U}{Z}, \qquad (3\text{-}39)$$

где I — действующее значение синусоидального переменного тока в неразветвленной цепи,

U — действующее значение синусоидального напряжения на концах этой цепи;

Z — полное сопротивление данной цепи на частоте тока.

Подставляя выражение полного сопротивления неразветвленной цепи переменного тока — формулу (3-34), получим распространенную форму записи закона Ома для цепи переменного тока:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2}}, \qquad (3\text{-}40)$$

где I — ток в цепи, *ом*;

U — напряжение на концах в цепи, *в*;

R — активное сопротивление цепи, *ом*;

X_L — индуктивное сопротивление, *ом*;

X_C — емкостное сопротивление, *ом*;

f — частота, *гц*;

L — индуктивность, *гн*;

C — емкость, *ф*.

Если какое-нибудь из трех сопротивлений отсутствует в цепи или ничтожно мало по сравнению с другими, то соответствующий член выражения (3-40) нужно приравнять нулю.

Отметим, что величина R при переменном токе учитывает все активные сопротивления, эквивалентные потерям энергии в сердечниках, каркасах, диэлектриках, и зависит от поверхностного эффекта, а потому вообще она не равна сопротивлению этой же цепи при постоянном токе. Лишь при сравнительно низких частотах она имеет значение, мало отличающееся от сопротивления проводов цепи постоянному току. При высоких частотах его лучше определять измерениями.

Пример. Цепь тонкоррекции состоит из последовательно соединенных конденсатора C = 10 000 *пф* и сопротивления R = 10 000 *ом*. Найти наибольшую величину тока I в этой цепи (для выбора типа сопротивления), если наибольшее напряжение на концах цепи может достигать 200 *в*, а частоты рабочих токов заключены в пределах от 100 до 4000 *гц*.

Наибольший ток будет при наивысшей частоте (4000 *гц*), поскольку емкостное сопротивление уменьшается с повышением частоты. Следовательно, расчет надо вести для частоты f = 4000 *гц*. Емкость 10 000 *пф* = 10^{-8}*ф*. Поскольку данная цепь не содержит индуктивности, в формуле (3-40) член «$6{,}28 f \cdot L$» отпадает, и тогда она принимает вид

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(-\frac{1}{2\pi f C}\right)^2}}.$$

Подставляя вместо букв их заданные значения, получим:

$$I = \frac{200}{\sqrt{10\,000^2 + \left(-\frac{1}{6{,}28 \cdot 4000 \cdot 10^{-8}}\right)^2}} = 0{,}019 а = 19 \text{ ма}.$$

Резонанс. Из примера на стр. 38 нетрудно усмотреть, что полное сопротивление (158 *ом*) цепи переменного тока может оказаться меньше сопротивления отдельных участков ее (например, меньше, чем сопротивление одного только конденсатора, которое равно в этом примере 320 *ом*).

Ток в цепи зависит от полного ее сопротивления

$$I = \frac{U}{Z_п}, \qquad (3\text{-}41)$$

где U — напряжение на концах рассматриваемой цепи;

$Z_п$ — полное сопротивление этой цепи.

Напряжения, падающие на отдельных участках, определяются этим током и сопротивлением соответствующих участков цепи:

$$U_1 = I Z_1, \qquad (3\text{-}41а)$$

где U_1 — падение напряжения на участке цепи, обладающем сопротивлением Z_1.

В частности, на конденсаторе в нашем примере получается большее напряжение, чем э. д. с. источника. Это положение легко проверить. Предположим, что к цепи приложено напряжение 100 *в*. Тогда по формуле (3-40) ток в цепи будет 0,63, *а*, а по формуле (3-41а) падение напряжения на конденсаторе 202 *в*, т. е. оно в 2 раза превышает величину э. д. с., питающей цепь. Такое явление возможно только при условии, что в цепи содержатся и катушка и конденсатор, так как их реактивные сопротивления в той или иной мере компенсируют друг друга и полное сопротивление цепи уменьшается, в связи с чем ток возрастает, а следовательно, возрастают и падения напряжения на всех участках цепи. Но эти падения напряжения на катушке и конденсаторе направлены навстречу друг другу (напряжение на катушке опережает

ток на 90°, а напряжение на конденсаторе отстает от тока на 90°), поэтому результирующее напряжение на них всегда меньше э. д. с. источника, которая будет равна геометрической сумме этого результирующего и падения напряжения на активном сопротивлении цепи.

Наибольшие величины напряжения на емкости и индуктивности получаются при резонансе напряжений. Резонанс напряжений наступает, когда индуктивное сопротивление численно равняется емкостному, т. е. когда $X_L = X_C$ или, что то же самое,

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}. \qquad (3\text{-}42)$$

Условие резонанса напряжений (3-42) может быть приведено к виду:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \qquad (3\text{-}43а)$$

известному в радиотехнике под названием формулы Томпсона. Это выражение показывает, что в любой цепи, содержащей индуктивность L и емкость C, может быть получен резонанс напряжений, если ее питать током такой частоты, которая вычисляется по формуле (3-43а).

Достигнуть резонанса можно и при заданной частоте соответствующим подбором параметров самой цепи. При заданных индуктивности L и частоте f подбирают емкость

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}, \qquad (3\text{-}43б)$$

а при заданной емкости C и частоте f — индуктивность

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}. \qquad (3\text{-}43в)$$

Все три способа достижения резонанса находят широкое применение на практике. Само явление резонанса напряжений играет очень важную роль в радиотехнике.

Пример. Катушки головного телефона обладают общей индуктивностью в 2 *мгн*. На какой частоте возникает резонанс, если телефон включен через конденсатор емкостью в 0,2 *мкф*?

По формуле (3-45в) находим

$$f = \frac{1}{6{,}28\sqrt{2\cdot 10^{-3}\cdot 2\cdot 10^{-7}}} = 8000 \text{ гц}.$$

Если индуктивность и емкость включить параллельно друг другу и эту цепь подключить к зажимам генератора так, как показано на рис. 3-16, то при равенстве их реактивных сопротивлений, т. е. при $X_L = X_C$ в этой цепи получается резонанс токов.

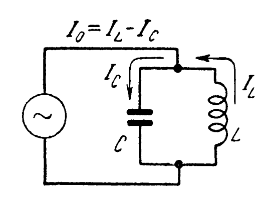


Рис. 3-16. Параллельное включение L и C.

Равенство сопротивлений X_L и X_C приводит к равенству токов, проходящих в обеих ветвях, но поскольку эти токи (в связи со сдвигом фаз) имеют в каждый момент противоположное направление, результирующий общий ток, потребляемый от источника, будет равен их разности. Если бы элементы рассматриваемой цепи не обладали активными сопротивлениями, то результирующий ток $I_0 = I_L - I_C$ равнялся бы нулю, т. е. от источника ток не потреблялся бы вовсе. Наличие активных потерь не дает полной взаимной компенсации токов I_L и I_C поэтому ток I_0 не равен нулю, хотя и может быть очень мал и значительно меньше токов в каждой из ветвей.

Таким образом, если резонанс напряжений характеризуется повышением напряжения на элементах цепи, то резонанс токов характеризуется увеличением токов в ветвях цепи. Но оба резонансных явления характерны тем, что сдвиг фаз между током и напряжением в общей цепи равен нулю, т. е. *при настройке в резонанс цепи ведут себя как чисто активные сопротивления, равные при резонансе напряжений активному сопротивлению R цепи, а при резонансе токов* $R_{экв} = \frac{L}{CR}$, где R — в *ом*, L — в *гн* и C — в *ф*. При резонансе напряжений сопротивление контура получается наименьшим, а при резонансе токов — наибольшим из всех возможных его значений.

Так как условие возникновения резонанса токов совпадает с условием возникновения резонанса напряжений, то для достижения резонанса токов пригодны указанные выше три способа (при малых активных потерях, вытекающие из уравнений (3-43 *а*, *б*, *в*).

Мощность переменного тока. Выражения (3-12), (3-12а) и (3-12б) находят применение и для расчета мощности переменного тока. Если в них подставлять полное сопротивление цепи переменному току Z, то вычисляемая мощность называется кажущейся и обозначается $P_к$:

$$P_к = UI; \qquad (3\text{-}44)$$

$$P_к = I^2 Z; \qquad (3\text{-}44а)$$

$$P_к = \frac{U^2}{Z}. \qquad (3\text{-}44б)$$

Величину кажущейся мощности указывают не в ваттах, а в вольтамперах (*ва*).

Кажущаяся мощность не характеризует действительной затраты энергии в цепи. Рассмотрим цепь, содержащую чистую (без потерь) индуктивность или емкость. В ней ток сдвинут по фазе от напряжения на $^1/_4$ периода. Из кривых на рис. 3-10, *в*, изображающих такой сдвиг, можно видеть, что в течение первой и третьей четвертей периода направление тока совпадает с направлением приложенного к цепи напряжения (кривые располагаются по одну и ту же сторону горизонтальной оси), а это означает, что цепь поглощает энергию от источника. Во вторую и четвертую четверти периода ток имеет направления, противоположные направлениям напряжения; это означает, что цепь возвращает энергию источнику. Если в одну четверть периода катушка или конденсатор как бы «заряжаются» энергией источника тока, то в следующую четверть периода они «разряжаются», т. е. сами становятся источниками энергии, а первоисточник — их нагрузочным сопротивлением. Именно поэтому индуктивное и емкостное сопротивления названы реактивными (реакция — обратное действие).

Итак, реактивные сопротивления не вызывают потерь энергии, но количество энергии, которое они забирают при каждом «заряде», определяет режим их работы, и для описания свойств того или иного конденсатора или катушки иногда указывают максимально допустимую для них реактивную мощность. Реактивная мощность — это мощность, которой обменивается рактивное сопротивление с источником э. д. с. Реактивная мощность определяется формулами:

$$P_р = I^2 X, \qquad (3\text{-}45а)$$

$$P_р = \frac{U^2}{X}, \qquad (3\text{-}45б)$$

где X — реактивное сопротивление (емкостное или индуктивное).

Поскольку реактивная мощность не связана с затратой энергии в цепи, ее тоже выражают не в ваттах, а в вольтамперах реактивных (*вар*).

П р и м е р. Конденсатор $C = 1000$ *пф* $= 10^{-9}$ *ф* рассчитан на максимальную реактивную мощность $P_р = 2$ *квар* $= 2000$ *вар*. Допустимо ли его ставить под напряжение $U = 500$ *в* при частоте $f = 1$ *Мгц* $= 10^6$ *гц*?

Подставляя в уравнение (3-45б) вместо X выражение

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C},$$

получаем

$$P_р = U^2 2\pi f C.$$

Подставляя затем вместо букв соответствующие их значения, найдем

$$P_р = 500^2 \cdot 6{,}28 \cdot 10^6 \cdot 10^{-9} = 1570 \text{ ва}.$$

Так как 1570 *ва* < 2000 *ва*, то использовать указанный конденсатор в данной цепи можно.

Мощность в цепи переменного тока расходуется лишь в одном активном сопротивлении R. Поэтому для расчета ее можно применять формулу (3-12), т. е. $P = I^2R$, если только величина R соответствует активному сопротивлению цепи на рабочей частоте тока. Чаще же для определения активной мощности пользуются формулой

$$P = UI \cos\varphi, \quad (3\text{-}46)$$

которая получается из формулы (3-12) с учетом закона Ома и формулы (3-27).

Для приборов, вносящих сдвиг фаз, обычно указывается нормальное значение $\cos\varphi$, тем самым расчет активной мощности не вызывает затруднений. Для сетевых радиоприемников переменного тока $\cos\varphi$ обычно принимается в среднем 0,8.

П р и м е р. Какую мощность поглощает радиоприемник из электросети 220 *в*, если амперметр показывает ток 300 *ма* = 0,3 *а*?

По формуле (3-46) находим $P = 220 \cdot 0{,}3 \times 0{,}8 = 52{,}8$ *вт*.

Электроакустическая единица мощности. В связи с особенностью ощущения изменения громкости ухом человека в электроакустике введена особая единица для измерения и сравнения мощностей переменных токов — д е ц и б е л (*дб*). Децибелы составляют такую систему измерения, при которой изменение любой начальной мощности на одинаковое число единиц соответствует одинаковой слуховой оценке этого изменения. Если, например, изменить мощность на 1 *вт*, то слуховое ощущение будет различным в зависимости от первоначальной мощности: при начальной мощности в 1 *вт* увеличение ее до 2 *вт* будет заметным для слуха, но увеличение мощности с 50 до 51 *вт* не будет ощущаться ухом. Изменение же мощности, например, на 5 *дб* всегда будет вызывать одинаковое слуховое ощущение независимо от того, чему равнялась мощность до этого изменения.

В радиотехнике децибелы находят применение для сравнения мощностей и характеристики усиления или ослабления (затухания) мощности. В децибелах, например, указывают ослабление мешающего сигнала в сравнении с полезным при радиоприеме; в децибелах обычно приводится частотная характеристика усилителя низкой частоты или громкоговорителя. Положительным числом децибел (например, +15 *дб*) обозначается усиление, повышение мощности, а отрицательным (например, —40 *дб*) — ослабление, понижение мощности.

Когда изменение мощности указывается в децибелах, то эта величина наглядно показывает, как оно воспринимается ухом. Изменение мощности на 1 *дб* соответствует минимальному изменению громкости, которое способно заменить наше ухо; двукратное увеличение громкости соответствует повышению мощности в децибелах на 6 *дб* (в ваттах это соответствует четырехкратному увеличению мощности); заглушение одного звука другим имеет место, если их мощности отличаются, по крайней мере, на 35—40 *дб*. Полный диапазон громкостей воспринимаемых ухом (от порога слышимости до болевого предела), составляет 130 *дб*.

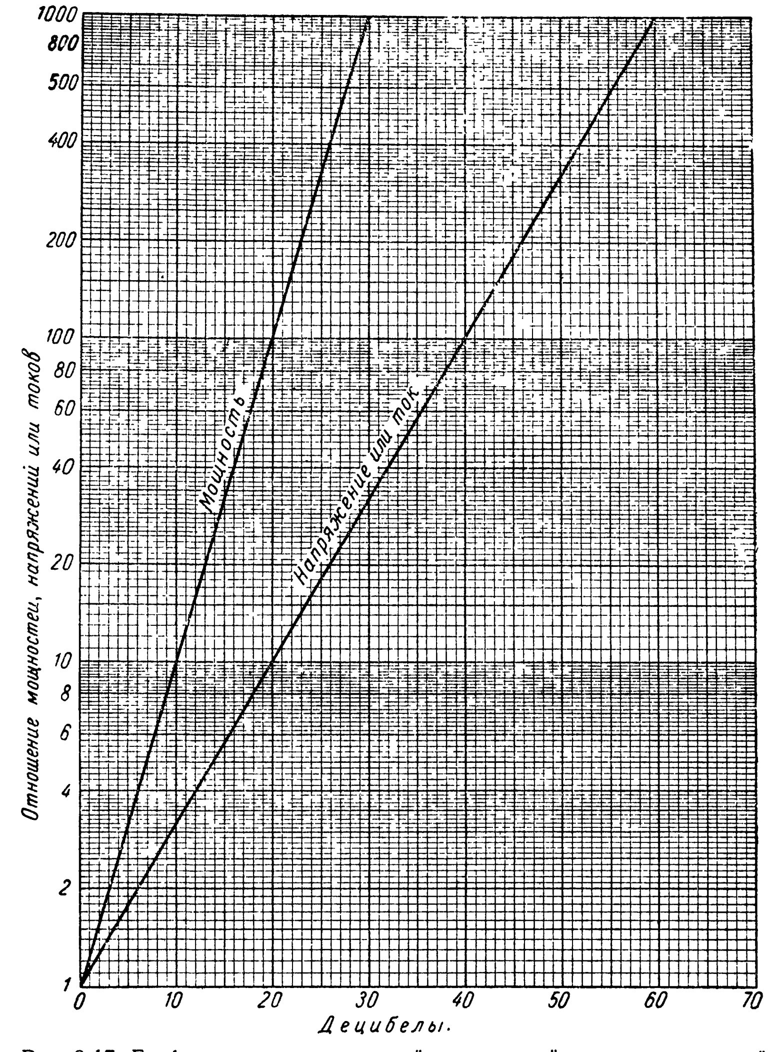


Рис. 3-17. График перевода отношений напряжений, токов и мощностей в децибелы.

В практике радиомастера при снятии характеристик или определении параметров радиоприемников, усилителей и электроакустических приборов необходимо уметь сравнивать мощности в децибелах, т. е. определять разность их уровней. Для этого прежде всего находят отношение большей из сравниваемых мощностей к меньшей (разумеется, обе мощности должны быть выражены в одинаковых единицах), затем отыскивают десятичный логарифм этого отношения и умножают его на 10:

$$\text{число децибел} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}. \quad (3\text{-}47)$$

Поскольку отыскание логарифма осуществляется с помощью таблиц, в радиотехнической литературе часто приводятся готовые таблицы, построенные по формуле (3-47) или графики. Такой график приведен на рис. 3-17.

Сообразно со смыслом задачи впереди числа децибел может ставиться знак + или —.

Пример. Мощность, развиваемая усилительной установкой при частоте 70 *гц*, составляет 20 *вт*, а при частоте 1000 *гц* она повышается до 50 *вт*. Определить разность уровней в децибелах.

Определяем отношение мощностей $\frac{P_2}{P_1} = \frac{50}{20} = 2{,}5.$

По графику на рис. 3-17 находим, что отношению мощностей 2,5 соответствует разность уровней в 4 *дб*.

Если сравниваемые мощности подаются в цепи с одинаковым сопротивлением или действуют в одной и той же цепи с неизменным сопротивлением, то вместо отношения мощностей можно брать квадрат отношения напряжений или токов, так как в этом случае $\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2.$

Для упрощения вычислений на графике (рис. 3-17) нанесена специальная линия, служащая для нахождения числа децибел непосредственно по отношению напряжений или токов, а не по квадрату этих отношений.

Пример. При равной мощности на входе сигнал основного канала супергетеродинного приемника развивает на выходе напряжение $U_1 = 4$ *в*, а сигнал зеркального канала $U_2 = 20$ *мв* $= 0{,}02$ *в*. Определить ослабление сигнала по зеркальному каналу в децибелах.

Определим отношение $\frac{U_1}{U_2} = \frac{4}{0{,}02} = 200$. На графике рис. 3-17 отношению напряжений 200 соответствует разность уровней в 46 *дб*. Так как при зеркальном приеме выходное напряжение ниже, чем при приеме по основному каналу, то происходит понижение уровня и мы должны снабдить ответ знаком минус, т. е. —46 *дб*.

Индуктивно связанные цепи. При влиянии магнитного поля одной катушки на другую говорят о наличии индуктивной связи между этими катушками. Индуктивная связь широко применяется для трансформации напряжения переменного тока, для согласования сопротивлений и для связи различных цепей в радиоаппаратуре. В радиоприемниках и телевизорах часто приходится сталкиваться с паразитной индуктивной связью, создающей помехи нормальной работе аппарата.

Для оценки величины индуктивной связи пользуются двумя связанными между собой характеристиками: взаимной индуктивностью (M) и коэффициентом связи (k).

Если весь создаваемый одной катушкой магнитный поток пересекает все витки второй катушки, то коэффициент связи считается равным единице ($k = 1$), а взаимная индуктивность, которая вообще равна

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}, \qquad (3\text{-}48)$$

в данном случае равняется $\sqrt{L_1 L_2}$. Здесь L_1 и L_2 обозначают индуктивности 1-й и 2-й катушек.

К такой сильной связи всегда стремятся в силовых и низкочастотных трансформаторах, чтобы избежать потерь энергии. Для увеличения связи применяют сердечники из материалов с высокой магнитной проницаемостью и в особо ответственных случаях катушки разбивают на ряд секций, располагая секции одной обмотки между секциями другой. При этом удается получать коэффициент связи весьма близкий к единице, например, у лучших выходных трансформаторов k достигает 0,998.

Для практического определения коэффициента связи измеряют общую индуктивность двух катушек при согласованном и при встречном включении их витков (рис. 3-18). В первом случае общая индуктивность равняется

$$L_{о.\,с} = L_1 + L_2 + 2M, \qquad (3\text{-}49а)$$

а во втором

$$L_{о.\,в} = L_1 + L_2 - 2M. \qquad (3\text{-}49б)$$

Из этих формул можно получить выражение взаимной индуктивности:

$$M = \frac{L_{о.\,с} - L_{о.\,в}}{4}. \qquad (3\text{-}49в)$$

Зная, кроме того, индуктивность каждой катушки L_1 и L_2, с помощью формулы (3-48) можно определить коэффициент связи:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}. \qquad (3\text{-}48а)$$

Рис. 3-18. Согласованное (*а*) и встречное (*б*) включение катушек индуктивности.

Величина $(1 - k^2)$ называется коэффициентом рассеяния. Она характеризует наличие у каждой катушки магнитных потоков, не пересекающих другую катушку и рассеиваемых в окружающем пространстве. Пользуются также понятием «индуктивность рассеяния», которая определяется как

$$L_s = (1 - k^2)\, L_1. \qquad (3\text{-}50)$$

Примеры. 1. В результате измерения индуктивностей выходного трансформатора найдено: $L_1 = 25$ *гн*, $L_2 = 10$ *мгн*, $L_{о.\,с} = 25{,}99$ *гн*, $L_{о.\,в} = 24{,}03$ *гн*. Определить M, k и L_s.

Согласно формулы (3-49в) находим:

$$M = \frac{25{,}99 - 24{,}03}{4} = 0{,}49 \text{ гн.}$$

По формуле (3-48а)

$$k = \frac{0{,}49}{\sqrt{25 \cdot 0{,}01}} = 0{,}98$$

и согласно (3-50)

$$L_s = (1 - 0{,}98^2)\, 25 = 1 \text{ гн.}$$

2. Определить коэффициент связи контурной катушки с антенной катушкой, если измерено: индуктивность контурной катушки $L_к = 210$ *мкгн*, индуктивность антенной катушки $L_а = 740$ *мкгн*, а общая индуктивность обеих катушек при двух способах соединения их концов составляет 1125 *мкгн* и 775 *мкгн*.

По формулам (3-49в) и (3-48а) находим:

$$M = \frac{1125 - 775}{4} = 87{,}5 \text{ мкгн;}$$

$$k = \frac{87{,}5}{\sqrt{740 \cdot 210}} = 0{,}222.$$

Трансформатор низкой частоты. У низкочастотных трансформаторов со стальными сердечниками коэффициент связи весьма близок к единице, поэтому практически все витки каждой обмотки пронизываются одним и тем же магнитным потоком, а это значит, что в каждом витке трансформатора индуктируется одинаковая э. д. с. и напряжения на концах обмоток пропорциональны числам витков в них:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = n, \qquad (3\text{-}51)$$

где n — отношение числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной — называют коэффициентом трансформации;

U_1 и U_2 — напряжения первичной и вторичной обмоток соответственно;

w_1 и w_2 — числа витков в них.

Если n меньше единицы ($w_1 < w_2$), трансформатор называется повышающим, так как вторичное напряжение больше первичного. Если же n больше единицы ($w_1 > w_2$), трансформатор понижает напряжение и называется понижающим.

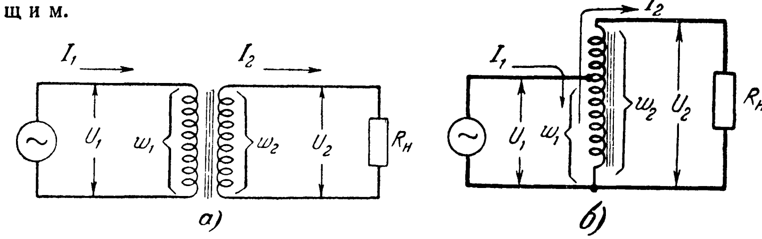


Рис. 3-19. Схема трансформатора (*а*) и автотрансформатора (*б*).

Одновременно с трансформацией напряжения происходит трансформация токов, причем отношение токов обратно пропорционально отношению напряжений:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{n}. \qquad (3\text{-}52)$$

Пример. Междуламповый трансформатор со стальным сердечником обладает коэффициентом трансформации $n = 1/_3$. Какое напряжение U_2 возникает на концах его вторичной обмотки, если к первичной обмотке приложить напряжение $U_1 = 14$ *в*?

По формуле (3-51) находим

$$U_2 = \frac{U_1}{n} = \frac{14}{1/3} = 14 \cdot 3 = 42 \text{ в}.$$

Сопротивление, оказываемое первичной обмоткой трансформатора источнику переменного тока, зависит от нагрузки, присоединенной ко вторичной обмотке. Если вторичная обмотка не нагружена, то первичная обмотка проявляет свойства катушки индуктивности и по ней проходит только небольшой намагничивающий сердечник ток, отстающий по фазе от напряжения источника почти на 90°. Если же ко вторичной обмотке присоединено сопротивление $R_н$, то первичная обмотка оказывает первичному току сопротивление

$$R_{1э} = n^2 R_н. \qquad (3\text{-}53)$$

Если вместо активного сопротивления присоединить ко вторичной обмотке конденсатор $C_н$ или индуктивность $L_н$, то и первичная обмотка проявит свойства конденсатора или индуктивности соответственно, причем величина эквивалентной емкости или индуктивности определяется следующими соотношениями:

$$C_{1э} = \frac{C_н}{n^2}; \qquad (3\text{-}53а)$$

$$L_{1э} = n^2 L_н. \qquad (3\text{-}53б)$$

Вообще

$$Z_{1э} = n^2 Z_н. \qquad (3\text{-}53в)$$

Возможностью преобразования величины сопротивления с помощью трансформатора широко пользуются в радиотехнике в целях обеспечения наилучших режимов работы различных приборов (ламп, транзисторов, микрофонов и т. п.).

Пример. Условия наиболее эффективной работы выходного низкочастотного каскада на лампе 2С4С получаются при сопротивлении нагрузки 2500 *ом*. Звуковая же катушка громкоговорителя имеет сопротивление 4 *ом*. Рассчитать необходимый коэффициент трансформации выходного трансформатора.

Из формулы (3-53) следует, что $n^2 = \frac{R_{1э}}{R_н}$, или

$$n = \sqrt{\frac{R_{1э}}{R_н}}. \qquad (3\text{-}53г)$$

Подставляя соответствующие значения, найдем

$$n = \sqrt{\frac{2500}{4}} = 25:1$$

Реальные трансформаторы обладают к. п. д. меньшим единицы ($\eta < 1$), а потому вторичное напряжение, особенно под нагрузкой, оказывается несколько ниже рассчитанного по упрощенной формуле (3-51), а ток, потребляемый первичной обмоткой, несколько больше, чем следует из формулы (3-52). Обычно эти отступления укладываются в пределы 5—10%, и когда требуется особенно точный расчет, например, для накальных обмоток силовых трансформаторов, число витков этих обмоток увеличивают на 5—10% против значения получаемого по упрощенным формулам без учета к. п. д.

В случаях, когда требуется иметь небольшой коэффициент трансформации (в пределах $1/_2$—2) и не нужна электрическая изоляция вторичной цепи от первичной, выгодно заменять трансформатор автотрансформатором (рис. 3-19, *б*).

Теория устанавливает, что индуктированный (вторичный) ток I_2 сдвинут на 180° относительно индуктирующего (первичного) тока I_1, т. е. имеет в каждый момент времени противоположное ему направление. Поэтому через витки автотрансформатора, входящие и в первичную и вторичную цепи, проходит ток, равный разности токов I_1 и I_2, следовательно, эти витки могут быть намотаны более тонким проводом, чем соответствующая обмотка обычного трансформатора. Кроме того, это обстоятельство позволяет уменьшить сечение стального сердечника, который должен обеспечить лишь преобразование мощности:

$$P_{ат} = U_1 (I_1 - I_2), \qquad (3\text{-}54)$$

где $P_{ат}$ — расчетная мощность автотрансформатора;

U_1 — напряжение на меньшей секции;

I_1 — ток в цепи, содержащей витки этой секции;

I_2 — ток в цепи, содержащей большее число витков.

В то же время вся передаваемая от источника в нагрузку мощность, как и у трансформатора, равна $U_1 I_1$.

3-4. Цепи переменных токов сложной формы

Спектральный состав несинусоидального колебания. Несмотря на то, что синусоидальная форма переменного тока очень распространена, в радиоаппаратуре в основном приходится иметь дело с более сложными формами токов.

Простейшим случаем сложного тока является пульсирующий ток, полученный в результате наложения синусоидального переменного тока на постоянный (рис. 3-20). Такую форму имеет, например, анодный ток

лампы усилителя низкой частоты при подаче на вход усилителя сигнала от звукового генератора.

Для того, чтобы выяснить результат воздействия на электрическую цепь сложного тока, этот ток разделяют на простейшие составляющие, рассматривают воздействие на данную цепь каждой составляющей и общее воздействие всех составляющих определяют как сумму воздействий. Этот прием известен в электротехнике под названием принципа суперпозиции (наложения).

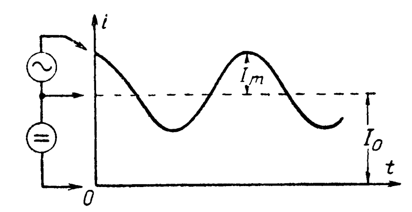


Рис. 3-20. Пульсирующий ток.

Упомянутый нами пульсирующий ток может быть представлен состоящим из двух составляющих: постоянной I_0 и синусоидальной переменной I. Пользуясь принципом наложения, определим мощность, рассеиваемую таким током в сопротивлении R. Если через сопротивление R проходит постоянный ток I_0, то в сопротивлении выделяется мощность $P_0 = I_0^2 \cdot R$ — согласно формуле (3-12). При прохождении через активное сопротивление синусоидального переменного тока мощность также может быть определена по формуле $P_\sim = I_\sim^2 R$, если под $I_\sim$ понимать действующее значение переменной составляющей (стр. 35). Таким образом, мощность, выделяемая пульсирующим током, составляет

$$P = P_0 + P_\sim = \left(I_0^2 + I_\sim^2\right) R. \qquad (3\text{-}55)$$

Отсюда нетрудно сделать заключение о том, что действующее значение пульсирующего тока равно

$$I_д = \sqrt{I_0^2 + I_\sim^2} \qquad (3\text{-}56)$$

Аналогичным путем можно показать, что среднее (за период) значение пульсирующего тока

$$I_{ср} = I_0, \qquad (3\text{-}57)$$

а максимальное значение тока

$$I_{макс} = I_0 + I_m = I_0 + 1{,}41 I_\sim. \qquad (3\text{-}58)$$

В такой же форме записываются формулы для пульсирующих напряжений и э. д. с.

При расчете элементов цепи пульсирующего тока надо ясно отдавать себе отчет, какое именно значение его (максимальное, среднее или действующее) должно учитываться в данном случае.

Примеры. 1. Электролитический конденсатор рассчитан на максимальное рабочее напряжение 450 *в*. Допустимо ли его применить в цепи выпрямителя, где действует пульсирующее напряжение с постоянной составляющей $U_0 = 400$ *в* и переменной $U_\sim = 40$ *в*?

Находим амплитуду переменной составляющей напряжения $U_m = 1{,}41\ U_\sim = 1{,}41 \cdot 40 = 56$ *в* и определяем по формуле, аналогичной (3-58), максимальное значение пульсирующего напряжения $U_{макс} = U_0 + U_m = 400 + 56 = 456$ *в*. Из полученного ответа ясно, что для данной цепи необходим конденсатор на большее напряжение.

2. Требуется рассчитать диаметр провода для первичной обмотки выходного трансформатора, по которой проходит пульсирующий анодный ток лампы с составляющими $I_0 = 40$ *ма* и $I_\sim = 30$ *ма*.

Поскольку диаметр провода выбирается в соответствии с допустимым для него нагревом, определяемым действующим значением проходящего через него тока, то необходимо по формуле (3-56) определить действующее значение пульсирующего тока

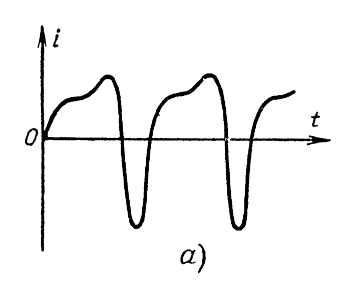
$$I_д = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50\ ма = 0{,}05\ а.$$

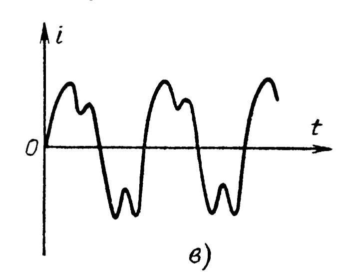
Так как для обмоток трансформаторов допускается предельная плотность тока $\gamma = 2$ *а/мм²*, по формуле (3-14) находим

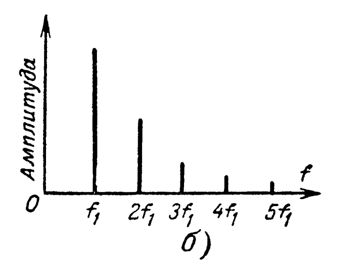
$$d = 1{,}13 \sqrt{\frac{0{,}05}{2}} = 0{,}18\ мм.$$

Теория показывает, а опыт подтверждает, что любой сложный ток, например, модулированные колебания, телевизионный сигнал и др., можно представить в виде суммы постоянного и синусоидальных переменных токов различных частот, амплитуд и фаз. В связи с этим вводится понятие о спектре токов сложной формы, причем под спектром понимается вся совокупность элементарных или как их еще называют — «гармонических» составляющих, сумма которых равноценна данному сложному току.

Знать спектральный состав важнейших типов сложных токов, встречающихся в радиоаппаратуре, необходимо для того, чтобы ясно понимать роль различных деталей схем, распознавать неисправности, связанные с нарушением нормальной работы цепей, в которых действуют такие токи, грамотно выбирать детали для этих цепей и производить хотя бы простейшие расчеты, необходимость в которых возникает при ремонтных и настроечных работах.







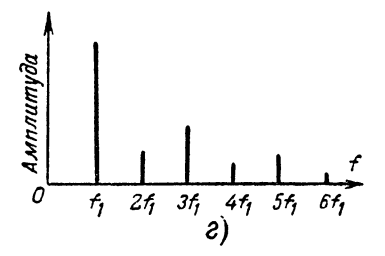


Рис. 3-21. Примеры сложных периодических токов и их спектры.

С точки зрения спектрального состава все переменные токи разделяются на два основных класса: периодические и непериодические (апериодические), примеры которых изображены на рис. 3-21—3-25.

Любой периодический сигнал состоит из синусоидального колебания основной частоты, соответствующей пол-

ному периоду данного сигнала $\left(f_1=\frac{1}{T}\right)$, и ряда синусоидальных колебаний с частотами, в целое число раз превышающими основную частоту: $2f_1$, $3f_1$, $4f_1$ и т. д., которые называют «высшими гармоническими составляющими» или просто «гармониками». Амплитуды гармоник, как правило, убывают с увеличением номера гармоники.

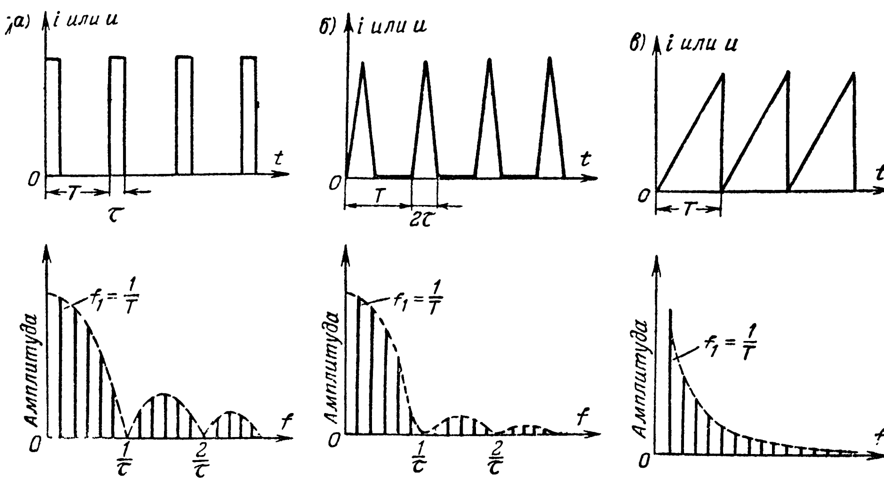


Рис. 3-22. Импульсные сигналы (наверху) и их спектры (внизу).

На рис. 3-21, *а* изображен типичный низкочастотный сигнал, соответствующий чистому тону музыкального инструмента. Наглядно представлять спектры (состав) сложных токов принято в форме графиков вида рис. 3-21, *б*. На таких графиках наносятся вертикальные линии при значениях частот каждой спектральной составляющей, причем длина линии в определенном масштабе изображает

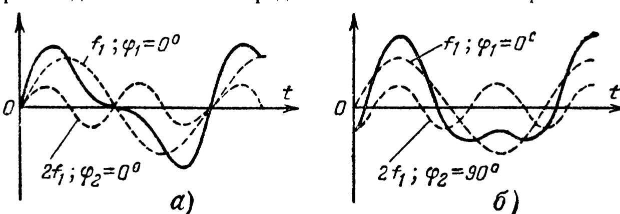


Рис. 3-23. Результирующее колебание при разных начальных фазах второй гармоники.

амплитуду данной составляющей. На рис. 3-21, *б* представлен спектр колебания, изображенного на рис. 3-21, *а*. На рис. 3-21, *в* и *г* представлено колебание с тем же периодом, что и на рис. 3-21, *а*, но созданное другим инструментом. Из сравнения спектров видно, что оба колебания отличаются лишь высшими гармоническими. Именно различное содержание гармоник определяет различный тембр звуков одной высоты у разных инструментов.

Особенно большое количество гармоник, к тому же с медленно убывающими амплитудами, несут в себе импульсные сигналы, очертания которых составлены из отрезков прямых линий (рис. 3-22). С такими сигналами приходится иметь дело, например, в телевизионных приемниках. Для неискаженной передачи их надо «пропустить» весьма широкую полосу частот, сплошь и рядом во много раз превышающую основную частоту (частоту повторения) сигнала. При этом для сохранения формы сигнала надо сохранить первоначальные соотношения не только между амплитудами всех его составляющих, но и между начальными фазами их. На рис. 3-23 для примера проведено сложение двух одинаковых составляющих при различных начальных фазах одной из них. Результирующее колебание получается совершенно иной формы.

На рис. 3-24 изображены сигналы, модулированные по амплитуде синусоидальным и сложным колебаниями, и даны их спектры. Как видно из этих рисунков, в спектре АМ колебаний присутствуют составляющие с частотами, равными разности и сумме несущей частоты и частот модулирующих колебаний. Эти частоты, располагающиеся по обеим сторонам от несущей, называют «боковыми». Только наличие боковых свидетельствует о том, что радиопередатчик передает какую-то информацию. Для приема этой информации приемник должен пропустить всю полосу частот, излучаемых передатчиком, которая в радиовещании оказывается таким образом вдвое шире полосы частот низкочастотного сигнала.

Спектр частотно-модулированных колебаний напоминает собой спектр АМ колебаний, но ширина его (полоса частот) оказывается еще больше.

Действующее значение тока (или напряжения) любого сложного тока равно, как и в случае пульсирующего тока, корню квадратному из суммы квадратов действующих значений всех составляющих:

$$I_д=\sqrt{I_0^2+I_1^2+I_2^2+\ldots}; \tag{3-59}$$

$$U_д=\sqrt{U_0^2+U_1^2+U_2^2+\ldots}, \tag{3-60}$$

где I_0 и U_0 — постоянные составляющие, I_1 и U_1 — первая гармоника (основное колебание), I_2 и U_2 — вторая гармоника и т. д.

Типичными апериодическими сигналами являются различные атмосферные и индустриальные радиопомехи (рис. 3-25). Такие сигналы отличаются тем, что они не повторяются с какой-либо определенной частотой, а потому не имеют и определенного периода. В отличие

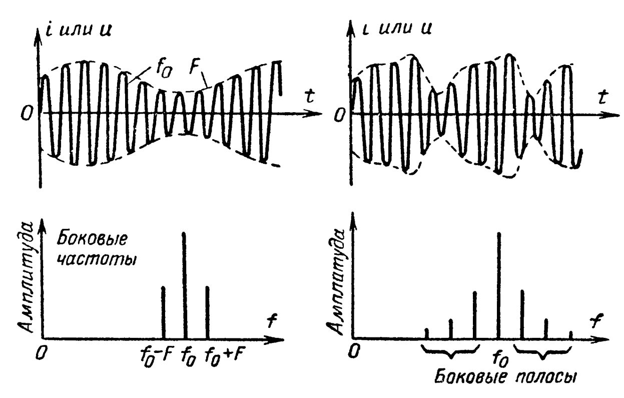


Рис. 3-24. АМ сигналы и их спектры.

от спектров периодических колебаний, спектры апериодических сигналов имеют сплошной, а не линейчатый характер. Иначе говоря, в спектре апериодического сигнала

присутствуют все частоты от нуля до бесконечности, в связи с чем такие сигналы очень опасны для радиоприемника, так как они воспринимаются на любой частоте, и отстроиться от них обычными способами нельзя.

При рассмотрении апериодических сигналов говорят не об амплитудах составляющих, а о спектральной плотности энергии — энергии, сосредоточенной в узкой полосе частот в районе той или иной частоты. Апериодические сигналы, у которых спектральная плотность одинакова

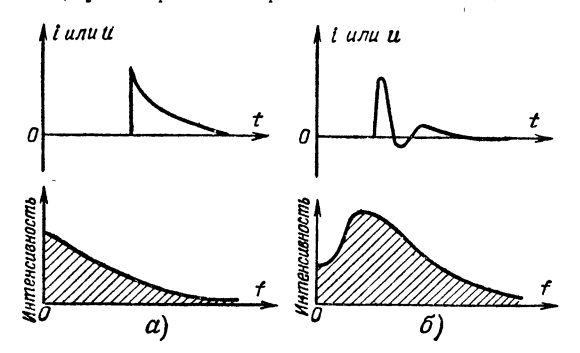


Рис. 3-25. Апериодические помехи и их спектры.

на всех частотах, имеют спектр вида на рис. 3-26, *а*, называемый «белым шумом». Таков, например, спектр шумов, создаваемых металлическими сопротивлениями. Приемно-усилительным лампам и транзисторам присущ спектр шумов с повышенной плотностью в области низких частот (рис. 3-26, *б*) и с переходом на закон белого шума на частотах порядка 1 *кгц* и выше. Спектры индустриальных помех отличаются большим разнообразием, но обычно их интенсивность по мере повышения частоты уменьшается, хотя в ряде случаев наибольшая интенсивность соответствует некоторой достаточно высокой частоте (рис. 3-25, *б*).

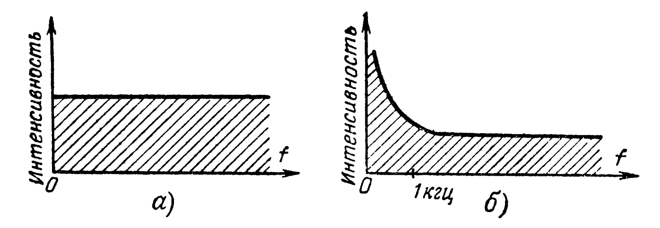


Рис. 3-26. Спектры «белого» шума (*а*) и шума усилительных приборов (*б*).

Частотные свойства электрических цепей. На том обстоятельстве, что электрические цепи, включающие в себя реактивные сопротивления, по-разному реагируют на токи различных частот, основано действие широкого класса схем, предназначенных для разделения, фильтрации и подавления сигналов с различными спектрами. В некоторых случаях частотные свойства электрических цепей, связанные с наличием паразитных емкостей и индуктивностей, дают нежелательные и даже вредные эффекты, которые радиомастеру надо уметь подавлять.

Для описания частотных свойств электрических цепей широко распространено представлять частотные характеристики их в форме графиков типа на рис. 3-27. По горизонтальной оси таких графиков откладывают частоты, причем в случае широкого диапазона частот часто прибегают к логарифмическому масштабу (стр. 16). По вертикальной оси откладывают значения рассматриваемого параметра электрической цепи: полного сопротивления, сдвига фаз, коэффициента передачи по напряжению или по мощности и т. п.

Наиболее важными являются частотные характеристики коэффициента передачи, под которым понимают отношение выходного напряжения ко входному или соответствующее отношение мощностей:

$$K_U = \frac{U_2}{U_1}; \qquad (3\text{-}61)$$

$$K_P = \frac{P_2}{P_1}, \qquad (3\text{-}62)$$

где U_2 и P_2 — напряжение и мощность на выходе;
U_1 и P_1 — то же на входе рассматриваемой схемы.

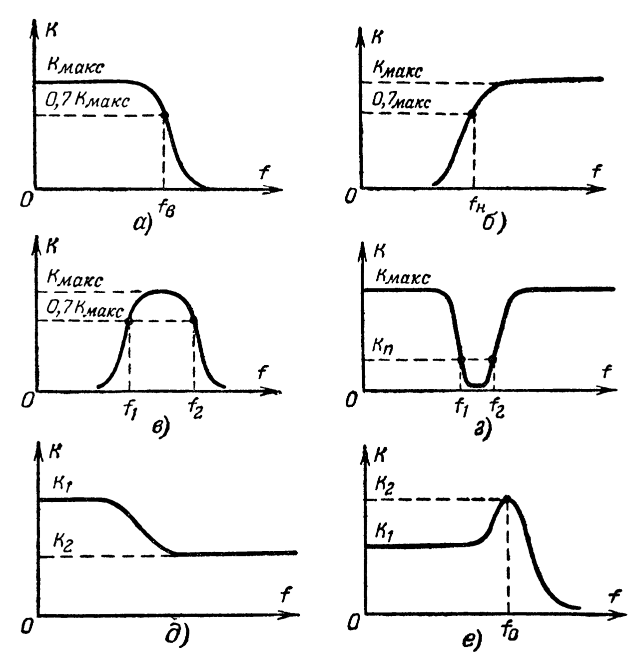


Рис. 3-27. Частотные характеристики важнейших классов электрических фильтров.

а — фильтра нижних частот; *б* — фильтра верхних частот; *в* — полосового фильтра; *г* — заграждающего фильтра; *д* и *е* — примеры частотной характеристики корректирующих цепей.

Значения коэффициентов передачи на графиках частотных характеристик часто выражают в логарифмических единицах — децибелах, причем через «0 *дб*» обычно обозначают не $K = 1$, а значение коэффициента передачи на некоторой характерной для данной схемы частоте. Так например, частотная характеристика низкочастотного усилителя приводится к уровню «0 *дб*» на частоте 400 или 1000 *гц*, кривая избирательности усилителя высокой частоты приводится к уровню «0 *дб*» на резонансной частоте его и т. д.

В зависимости от общего вида частотной характеристики коэффициента передачи электрические цепи делятся на ряд важнейших классов:

1) фильтры нижних частот — электрические цепи, пропускающие постоянный ток и нижние частоты и подавляющие сигналы высших частот (рис. 3-27, *а*);

2) фильтры высших частот — цепи, подавляющие низшие частоты и пропускающие высшие (рис. 3-27, *б*);

3) полосовые фильтры — электрические цепи, пропускающие ограниченную полосу частот и подавляющие все частоты вне этой полосы (рис. 3-27, *в*);

4) заграждающие фильтры — цепи, пропускающие все частоты, кроме ограниченной с двух сторон полосы частот (рис. 3-27, *г*);

5) корректирующие, компенсирующие и выравнивающие цепи — обширный класс электрических цепей, применяемых для получения частотных характеристик особых форм с различными коэффициентами передачи на разных частотах, а также для компенсации частотных искажений в других элементах. К таким цепям относится, например, цепь тонкоррекции с частотной характеристикой, представленной на рис. 3-27, *д*.

Частотно-избирательные цепи и фильтры принято характеризовать граничными частотами — частотами, при которых коэффициент передачи снижается до 0,7 от своего максимального значения (это то же самое, что ослабление на 3 *дб*). Эти частоты обозначены на рис. 3-27, *а*, *б* и *в* через $f_в$, $f_н$, f_1, f_2. Для заграждающих цепей частоты f_1 и f_2 характеризуются определенным минимальным подавлением сигнала $K_п/K_{макс}$ (рис. 3-27, *г*). Полосы частот в пределах $f_1 \div f_2$ у полосовых и заграждающих фильтров называют полосой пропускания или полосой заграждения соответственно.

Прохождение сложного сигнала через частотно-зависимые цепи сопровождается изменением амплитудных и фазовых соотношений между его составляющими. В ряде случаев эти изменения желательны, но часто они приводят к нежелательным искажениям сигналов. Поэтому для сознательного подхода к работе таких цепей надо, во-первых, ясно представлять спектр полезных сигналов и помех, действующих в данной цепи, во-вторых, знать частотные свойства этой цепи и в-третьих, уметь управлять этими свойствами с тем, чтобы обеспечить неискаженную передачу полезного сигнала и эффективное подавление помех.

Цепи *RC*. Очень широкое применение в радиоаппаратуре находит сочетание активного сопротивления с конденсатором. Эти цепи, называемые ячейками *RC*, позволяют осуществлять разделение постоянного и переменного тока, а в некоторых случаях и разделение переменных токов различных частот.

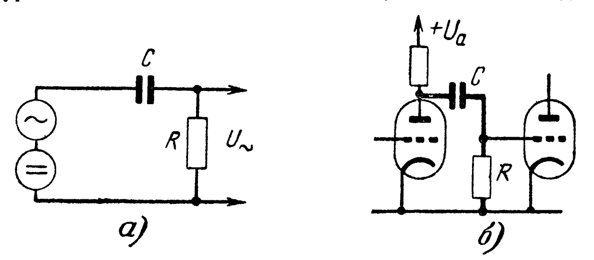


Рис. 3-28. Выделение переменной составляющей из пульсирующего напряжения.

а — принципиальная схема; *б* — пример применения.

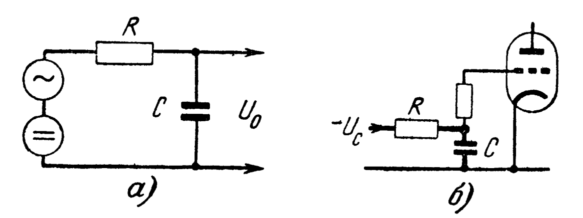


Рис. 3-29. Выделение постоянной составляющей из пульсирующего напряжения.

а — принципиальная схема; *б* — пример применения.

Выделение переменной или постоянной составляющей из пульсирующего напряжения осуществляется по схемам на рис. 3-28 и 3-29. Так как сопротивление изоляции конденсатора практически несравнимо больше сопротивления *R*, постоянная составляющая напряжения полностью падает на конденсаторе. Переменная составляющая напряжения, наоборот, будет почти полностью выделяться на сопротивлении *R*, если выбрать емкость конденсатора *C* так, чтобы его емкостное сопротивление при данной частоте тока было, по крайней мере, в 5—10 раз меньше сопротивления *R*, т. е. $X_C \ll R$. Типичным примером такого

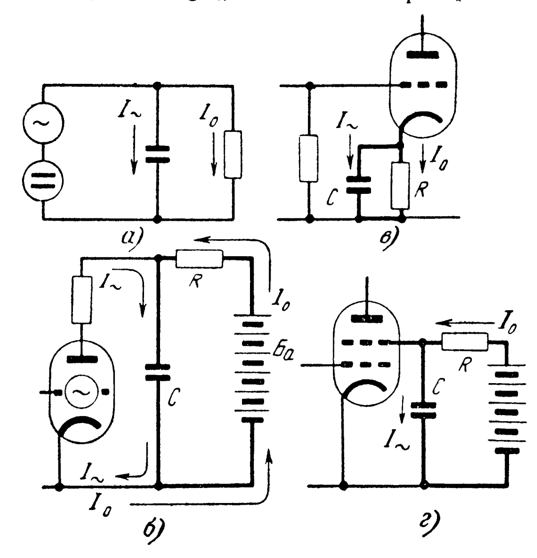


Рис. 3-30. Разделение переменного и постоянного токов.

а — принципиальная схема; *б*, *в* и *г* — примеры применения. I_0 — постоянная составляющая, $I_\sim$ — переменная составляющая тока.

применения ячейки является реостатно-емкостная связь между каскадами усилителя (рис. 3-28, *б*), подача на управляющую сетку смещения (рис. 3-29, *б*) и т. п.

Для разделения путей переменному и постоянному токам служит параллельное соединение сопротивления и конденсатора (рис. 3-30, *а*). Постоянный ток проходит только через ветвь с сопротивлением *R*, а переменный, если по-прежнему $X_C \ll R$, практически весь замыкается через конденсатор *C*. Подобного рода цепями являются так называемые развязывающие фильтры (рис. 3-30, *б*), преграждающие доступ усиливаемым переменным токам в общий источник анодного питания (источником переменных токов является лампа), цепи получения сеточного смещения (рис. 3-30, *в*), цепи питания экранирующих сеток лампы (рис. 3-30, *г*) и др.

Рассмотренные три типа соединения *R* и *C* пригодны не только для разделения переменного и постоянного напряжений или токов, но и для изменения соотношения между переменными напряжениями различных частот.

Предположим, что в схеме на рис. 3-28, *б* применен конденсатор *C* такой емкости, что для более высоких частот $X_C \ll R$, но при более низких частотах X_C окажется соизмеримым или даже больше *R*. Тогда, очевидно, при более высоких частотах переменное напряжение от анода первой лампы на сетку второй передается полностью, а при более низких — лишь частично, так как значительная часть напряжения упадет на емкостном сопротивлении конденсатора. В каскадах низкой частоты это вызывает уменьшение усиления наиболее низких звуков. Уменьшение емкости конденсатора в цепи анодной развязки (рис. 3-30, *б*) приводит к тому, что наиболее низкочастотные из усиливаемых лампой токов поступают в цепь питания, причем сопротивление анодной нагрузки для них увеличивается (за счет сопротивления развязки *R*)

и усиление их возрастает. Но при этом усиливаемые токи попадают в общий для ряда ламп источник питания и возникает опасность самовозбуждения усилителя. Чтобы избежать этих неприятных явлений при расчете ячеек RC, предназначенных только для разделения постоянной и переменной составляющих, расчет емкости конденсатора надо вести на самую низшую рабочую частоту.

Свойство ячейки RC по-разному пропускать токи различных частот используют, например, в цепях тонкоррекции. Для передачи наиболее высоких и срезания наиболее низких частот применяют схему на рис. 3-28, а для передачи наиболее низких и срезания высоких частот — схему на рис. 3-29. Эти схемы можно объединить (рис. 3-31) и получить одновременно разделение верхних и нижних частот.

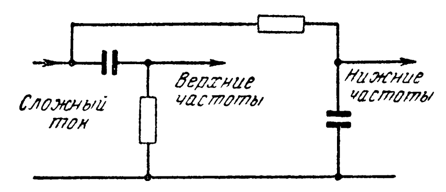


Рис. 3-31. Объединение схемы рис 3-28 и 3-29.

Важнейшим параметром RC цепи является так называемая «постоянная времени», определяющая частотные свойства цепи:

$$\tau = RC, \tag{3-63}$$

где τ — в секундах, если R — в омах, а C — в фарадах.

Постоянная времени характеризует частоту, при которой X_C становится равным R:

$$f_{гр} = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC}. \tag{3-64}$$

Эта частота называется граничной частотой RC цепи в вышеуказанном смысле (на этой частоте коэффициент передачи цепи снижается на 3 *дб* против своего максимального значения). Как бы не были изменены значения R и C, но если их произведение оставляется постоянным, то и частотные свойства цепи не изменяются.

Пример. Анодная развязывающая цепь состояла из сопротивления $R = 50\,000$ *ом* и конденсатора $C = 0{,}1$ *мкф* (см. рис. 3-30, *б*). При регулировании режима лампы пришлось уменьшить с целью повышения анодного напряжения величину сопротивления R до 20 000 *ом*. Как надо поступить с конденсатором, чтобы частотные свойства цепи при этом не изменились?

Очевидно, на основании условия $R_1C_1 = R_2C_2$ следует применить новый конденсатор емкостью

$$C_2 = \frac{R_1C_1}{R_2} = \frac{50\,(ком)\cdot 0{,}1\,(мкф)}{20\,(ком)} = 0{,}25\ мкф.$$

Частотные характеристики RC цепей напоминают характеристики, изображенные на рис. 3-27, *а* (для схемы на рис. 3-29, *а*) и рис. 3-27, *б* (для схемы на рис. 3-28, *а*), только «спады» характеристик этих цепей очень пологие.

Уже отмечалось, что для успешного разделения постоянной и переменной составляющих надо соблюдать условие $X_C \ll R$ вплоть до самых низкочастотных составляющих. Это означает, что граничная частота RC цепи $f_{гр}$ должна выбираться значительно ниже низшей частоты переменной составляющей. Практически требуют, чтобы RC цепь ослабляла переменную составляющую не менее, чем в некоторое число k раз (обычно k выбирается в пределах 5—100). Тогда надо выбирать граничную частоту цепи.

$$f_{гр} = \frac{f_н}{k}, \tag{3-65}$$

где $f_н$ — низшая частота переменной составляющей.

Пример. В цепи сеточного смещения (рис. 3-29, *б*) действует пульсирующее напряжение U_C, переменная составляющая которого достигает величины 0,2 *в*. Требуется сгладить пульсацию до 4 *мв* при сопротивлении R не больше 2 *Мом*. Какой емкости нужен конденсатор, если низшая частота пульсации равна 50 *гц*?

Определим необходимый коэффициент сглаживания переменной составляющей

$$k = \frac{0{,}2}{4\cdot 10^{-3}} = 50.$$

Согласно формуле (3-65) необходима граничная частота

$$f_{гр} = \frac{50}{50} = 1\ гц.$$

Тогда по формуле (3-64), приведенной к виду

$$C = \frac{1}{2\pi f_{гр} R}, \tag{3-64а}$$

найдем

$$C = \frac{1}{2\pi 1\cdot 2\cdot 10^6} = 0{,}08\cdot 10^{-6}\ ф \text{ или } 0{,}08\ мкф.$$

Когда конденсатор присоединяется параллельно активному сопротивлению (рис. 3-30, *а*) и $k \gg 1$, остаток переменного напряжения на концах ячейки можно считать равным падению напряжения на конденсаторе $U_C \approx IX_C$.

Пример. Сопротивление сеточного смещения, включенное в цепь катода лампы 6П3С, должно иметь 200 *ом*. Переменная составляющая анодного тока лампы $I = 50$ *ма* $= 0{,}05$ *а* и низшая частота $f = 70$ *гц*. На катодном сопротивлении допустимо выделение напряжения этой частоты не более $U_C = 2$ *в*. Определить необходимую емкость блокировочного конденсатора C (рис. 3-30, *в*).

По формуле $U_C \approx IX_C$ определяем необходимую величину емкостного сопротивления

$$X_C = \frac{U_C}{I} = \frac{2}{0{,}05} = 40\ ом.$$

Из формулы

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

находим

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{6{,}28\cdot 70\cdot 40} = 57\cdot 10^{-6}\ ф = 57\ мкф$$

Строго говоря, расчеты по формулам (3-63)—(3-65) справедливы лишь при условии, что RC цепь не нагружена, т. е. к ней не присоединено никаких внешних сопротивлений, в которые ответвлялся бы ток, проходящий через R и C. Однако даже в тех случаях, когда имеются внешние сопротивления, шунтирующие R или C, соизмеримые с величиной R цепи, можно получать с помощью приведенных формул правильный ответ, для чего достаточно подставлять в них в качестве R не сопротивление данной RC цепи, а общее сопротивление, образующееся при параллельном соединении R цепи и шунтирующего сопротивления, даже если шунтируется не R, а C.

Пример. Какую надо выбрать емкость развязывающей цепи (рис. 3-30, *б*), если требуется обеспечить

постоянную времени $\tau = 0{,}1$ *сек*, величина сопротивления $R = 10$ *ком*, анодный ток лампы $I_а = 10$ *ма*, напряжение, снимаемое с конденсатора C для питания анодной цепи лампы $E_а = 60$ *в*?

Определим нагрузочное сопротивление RC цепи

$$R_н = \frac{E_а}{I_а} = \frac{60}{10} = 6 \text{ ком.}$$

Найдем общее сопротивление

$$R_{общ} = \frac{R_н R}{R_н + R} = \frac{6 \cdot 10}{6 + 10} = 3{,}75 \text{ ком.}$$

Искомая емкость конденсатора

$$C = \frac{\tau}{R_{общ}} = \frac{0{,}1}{3{,}75 \cdot 10^3} = 2{,}7 \cdot 10^{-5} \text{ ф или } 27 \text{ мкф.}$$

Колебательный контур. Важнейшей частотно-избирательной цепью, широко употребляемой в радиоаппаратуре, является колебательный контур, в основе действия которого лежат рассмотренные выше резонансные явления (стр. 39). Там же были приведены формулы, определяющие резонансную частоту колебательного контура (3-43).

В большинстве случаев колебательный контур включается в схему таким образом, чтобы он повышал напряжение на частоте, соответствующей резонансу. Отношение напряжения, возникающего при этом на контуре, к э. д. с., подведенной к контуру, называют добротностью колебательного контура Q, которая может быть определена по той же формуле, что и добротность катушки индуктивности —

$$Q = \frac{2\pi f_0 L}{r}, \tag{3-66}$$

только в качестве r сюда надо подставлять активное сопротивление потерь всего контура, а в качестве f_0 — собственную (резонансную) частоту колебательного контура.

В связи с большими трудностями расчета r добротность высокочастотных контуров определяют измерением. Обычно у хороших колебательных контуров добротность измеряется десятками и доходит до 200—250, а у плохих она снижается до 5—10.

Под величиной r в формуле (3-66) понимают активное сопротивление, которое оказывает колебательный контур при резонансе напряжений, т. е. сопротивление, включенное как бы последовательно с L и C (рис. 3-32, *а*).

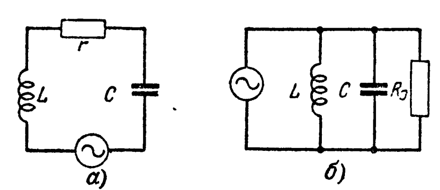


Рис. 3-32. Два способа представления активных потерь в колебательном контуре.

Другой способ представления активных потерь в колебательном контуре связан с механизмом резонанса токов. Если бы катушка и конденсатор не создавали потерь энергии, то при резонансе токов ток, потребляемый от источника, равнялся бы нулю. Поступление же некоторого тока в реальный контур с потерями можно связать с некоторым активным сопротивлением $R_э$, включенным как бы параллельно колебательному контуру (рис. 3-32, *б*). Это сопротивление принято называть эквивалентным сопротивлением потерь и обозначать в отличие от внутреннего сопротивления потерь r, большой буквой $R_э$.

Теория дает простое соотношение между этими сопротивлениями:

$$R_э = \frac{\varrho^2}{r}, \tag{3-67}$$

где через ϱ обозначено так называемое характеристическое сопротивление контура, равное реактивному сопротивлению катушки или конденсатора на резонансной частоте. Оно равным образом определяется любым из следующих трех выражений:

$$\varrho = 2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}}. \tag{3-68}$$

Из приведенных соотношений следует также, что

$$Q = \frac{R_э}{\varrho}. \tag{3-66а}$$

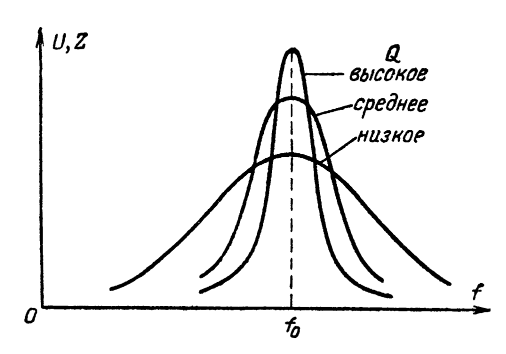


Рис. 3-33. Влияние добротности колебательного контура на резонансную кривую.

Частотная характеристика колебательного контура при обычных схемах включения имеет вид характеристики полосового фильтра (рис. 3-27, *в*), но с достаточно узкой вершиной (без горизонтальной площадки), причем полоса пропускания $\Delta f_п = f_2 - f_1$ зависит от добротности контура и резонансной частоты:

$$\Delta f_п = \frac{f_0}{Q}. \tag{3-69}$$

Пример. Какой добротности нужен колебательный контур для пропускания сигнала с шириной спектра 12 *кгц* при несущей частоте 465 *кгц*?

Решая уравнение (3-69) относительно неизвестной

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f_п}, \tag{3-69а}$$

получим:

$$Q = \frac{465}{12} \approx 40.$$

Спады резонансной кривой колебательного контура значительно более крутые, чем у RC цепей. Крутизна их тем больше, чем выше добротность (рис. 3-33).

Аналогичными кривыми представляется зависимость полного сопротивления от частоты. На резонансной частоте сопротивление контура чисто активное и имеет максимальное значение ($R_э$). При отклонении частоты в ту или другую сторону от резонанса в полном сопротивлении контура появляются реактивные составляющие, а величина его уменьшается.

Для неискаженного пропускания модулированного сигнала надо было бы применять контуры с невысокой добротностью, чтобы в пределах полосы частот передаваемого сигнала не сказывались частотные зависимости контуров. С другой стороны для эффективного ослабления помех со стороны радиостанций, работающих на соседних частотах, и для снижения мощности шумов от апериодических помех желательны узкие полосы пропускания и крутые спады резонансной кривой, что может быть достигнуто увеличением добротности.

Возникающее противоречие между полосой пропускания и избирательностью приемника решается путем тщательного расчета добротности контуров и связи их с другими элементами схемы. Как повышение, так и снижение добротности контуров против запроектированных значений может резко ухудшить качество работы приемника. Это надо хорошо помнить при ремонтных работах и всячески избегать мер, которые могут привести к изменению добротности контуров.

Действующая добротность колебательного контура в схеме (так называемая добротность нагруженного контура) зависит от шунтирующего влияния цепей, присоединенных к контуру. Кроме схемных сопротивлений, в качестве таких шунтирующих контур сопротивлений часто выступают внутренние сопротивления ламп или транзисторов.

Действующая добротность нагруженного контура может быть определена по прежней формуле (3-66а), если вместо $R_э$ подставить значение общего сопротивления, образующегося при параллельном соединении $R_э$ и шунтирующего контур сопротивления $R_{сх}$ схемы:

$$Q_н = \frac{1}{\varrho} \cdot \frac{R_э R_{сх}}{R_э + R_{сх}} \qquad (3\text{-}70)$$

или с учетом (3-66а)

$$Q_н = Q_х \frac{R_{сх}}{R_э + R_{сх}} = Q_х \frac{1}{1 + \frac{R_э}{R_{сх}}}, \qquad (3\text{-}70а)$$

где $Q_х$ — добротность «холостого» контура (вне схемы).

Пример. Добротность контура $Q_х = 200$ при характеристическом сопротивлении $\varrho = 5$ *ком*. Какова действующая добротность этого контура в схеме, если он шунтируется внутренним сопротивлением лампы 0,5 *Мом*?

Определим эквивалентное сопротивление контура по формуле (3-66а), приведенной к виду

$$R_э = Q\varrho; \qquad (3\text{-}66б)$$

$$R_э = 200 \cdot 5 = 1000 \text{ ком или } 1 \text{ Мом}.$$

Теперь на основании (3-70а) имеем

$$Q_н = 200 \frac{1}{1 + \frac{1}{0{,}5}} = 67,$$

т. е. втрое меньше добротности самого контура.

Для того, чтобы уменьшить шунтирующее действие схемы, когда оно нежелательно, часто прибегают к уменьшению связи колебательного контура со всей схемой или отдельными цепями ее. Это достигается применением автотрансформаторной, индуктивной или емкостной связи с коэффициентом связи меньше единицы (рис. 3-34). Эти схемы содействуют также ослаблению влияния нестабильных монтажных и междуэлектродных емкостей на настройку колебательного контура. При этом используется важное свойство колебательного контура — трансформация сопротивлений.

Для любой схемы связи можно указать коэффициент связи p, значения которого можно определить по формулам, приведенным на рис. 3-34.

Присоединение к контуру внешнего сопротивления $R_{сх}$ при коэффициенте связи p эквивалентно непосредственному присоединению к контуру сопротивления $R_{сх}/p^2$.

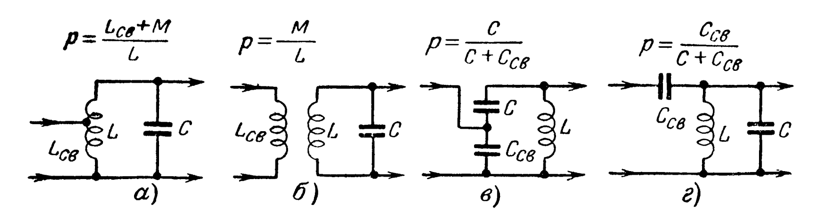


Рис. 3-34. Основные виды связи колебательного контура.

а — автотрансформаторная; *б* — индуктивная; *в* — внутренняя емкостная; *г* — внешняя емкостная; *M* — взаимная индуктивность между катушкой связи $L_{св}$ и контурной катушкой L.

При этом добротность нагруженного контура определяется уже формулой

$$Q_н = Q_х \frac{1}{1 + p^2 \frac{R_э}{R_{сх}}}, \qquad (3\text{-}70б)$$

а не (3-70а).

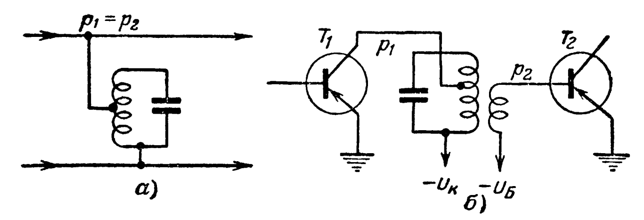


Рис. 3-35. Примеры схем неполной связи колебательного контура с предшествующей и последующей цепями.

Пример. Какова добротность нагруженного контура по условиям предыдущего примера, если контур связан с анодной цепью ламп автотрансформаторно, причем $p = 0{,}3$?

По формуле (3-70б) имеем:

$$Q_н = 200 \frac{1}{1 + 0{,}3^2 \frac{1}{0{,}5}} = \frac{200}{1{,}18} = 170,$$

т. е. более чем вдвое выше по сравнению с непосредственной связью.

Вносимая в колебательный контур емкость, если $p < 1$, также уменьшается до величины

$$C_{вн} = p^2 C_{сх}, \qquad (3\text{-}71)$$

где $C_{сх}$ — емкость схемы.

На рис. 3-34 изображены схемы с неполной связью колебательного контура с предшествующей ему цепью, а следующая за контуром цепь связана с ним полностью. Иногда (особенно часто в схемах с транзисторами) прибегают к ослаблению связи контура и с последующей цепью (рис. 3-35). В этих схемах различают два коэффициента связи: p_1, описывающий связь с предшествующей цепью, и p_2 — со следующей за контуром цепью.

В схемах с транзисторами коэффициенты p_1 и p_2 выбираются из расчета не только получения нужной полосы пропускания, но и достижения необходимого согласования сопротивлений.

Известно, что всякий источник сигнала отдает максимальную мощность при условии, что активное сопротивление нагрузки равно активной составляющей внутреннего сопротивления этого источника:

$$R_н = R_г. \tag{3-72}$$

В схемах с транзисторами в качестве $R_г$ выступает выходное сопротивление предшествующего колебательному контуру транзистора, а в качестве $R_н$ — входное сопротивление следующего транзистора. Здесь, как правило, получается $R_н \ll R_г$, что не позволяет получить от транзистора большого усиления мощности.

Хотя основным назначением колебательного контура в усилителе высокой или промежуточной частоты является формирование определенной частотной характеристики, способствующей неискаженному пропусканию полезного сигнала и подавлению помех, тем не менее, правильным выбором коэффициентов p_1 и p_2 удается одновременно обеспечить оптимальные условия согласования, описываемые формулой (3-72).

Для этого, во-первых, надо применить колебательный контур, у которого холостая добротность будет по возможности более высокой, не зависимо от того, какая добротность нужна для пропускания заданной полосы частот (т. е. надо обеспечить $Q_х \gg Q_н$).

Во-вторых, надо принять такое соотношение между p_1 и p_2, чтобы сопротивления, вносимые в колебательный контур предшествующим $\left(R_г/p_1^2\right)$ и последующим $\left(R_н/p_2^2\right)$ транзисторами, равнялись, т. е.

$$\frac{R_г}{p_1^2} = \frac{R_н}{p_2^2}. \tag{3-72а}$$

Наконец, в-третьих, надо выбрать такие абсолютные значения p_1 и p_2, при которых добротность нагруженного контура будет удовлетворять требованиям полосы пропускания.

$Q_н$ при нагрузке контура двумя сопротивлениями при неполной связи определяется соотношением

$$Q_н = Q_х \frac{1}{1 + p_1^2 \dfrac{R_э}{R_г} + p_2^2 \dfrac{R_э}{R_н}}, \tag{3-70в}$$

а с учетом (3-72а) в данном случае

$$Q_н = Q_х \frac{1}{1 + 2p_1^2 \dfrac{R_э}{R_г}}. \tag{3-70г}$$

П р и м е р. В схеме на рис. 3-35, *б* выходное сопротивление транзистора T_1 — $R_г = 25$ *ком*, а входное T_2 — $R_н = 2$ *ком*. Добротность холостого контура $Q_х = 200$, характеристическое сопротивление $\varrho = 1$ *ком*. Требуется $Q_н = 40$. Определить p_1 и p_2.

Решим уравнение (3-70г) относительно p_1:

$$p_1 = \sqrt{\frac{1}{2}\left(\frac{Q_х}{Q_н} - 1\right)\frac{R_г}{R_э}}. \tag{3-70д}$$

В соответствии с заданными величинами, а также учитывая, что $R_э = Q_х\varrho = 200 \cdot 1 = 200$ *ком*, имеем

$$p_1 = \sqrt{\frac{1}{2}\left(\frac{200}{40} - 1\right)\frac{25}{200}} = 0{,}5.$$

На основании соотношения (3-72а)

$$p_2 = p_1 \sqrt{\frac{R_н}{R_г}} = 0{,}5 \sqrt{\frac{2}{25}} = 0{,}141.$$

Фильтр-пробка. При определенных способах включения колебательный контур может и подавлять частоты, соответствующие его резонансной частоте. При этом частотная характеристика цепи получается антирезонансной, вида на рис. 3-27, *г*.

Наиболее распространено применение колебательного контура в качестве простейшего заграждающего фильтра в радиовещательных приемниках с целью ослабления сигналов с частотой, равной промежуточной частоте приемника (рис. 3-36, *а* и *б*), и в телевизионных приемниках для подавления сигналов передатчика звукового сопровождения в канале изображения (рис. 3-36, *в*).

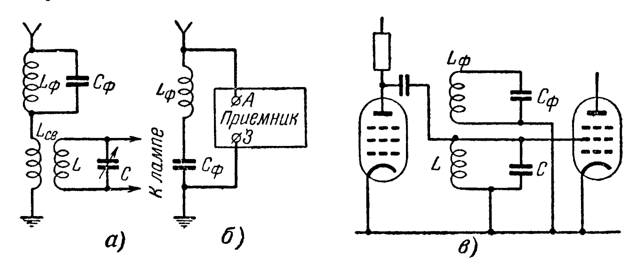


Рис. 3-36. Заграждающие фильтры, использующие колебательный контур.

В схеме на рис. 3-36, *а* используется то обстоятельство, что параллельное соединение $L_ф$ и $C_ф$ на резонансной частоте обладает максимальным сопротивлением ($R_э$), ослабляющим связь антенны со входной цепью приемника. Схема на рис. 3-36, *б* основана напротив на сильном шунтирующем действии последовательного соединения $L_ф$ и $C_ф$ при резонансе напряжений, ибо тут сопротивление цепи $L_ф C_ф$ минимально (r). Схема на рис. 3-36, *в* использует «отсасывающее» действие контура $L_ф C_ф$, индуктивно связанного с колебательным контуром усилителя.

Подавление сигналов на частоте резонанса контура $L_ф C_ф$ в схемах на рис. 3-36, *а* и *б* получается наибольшим в случае, когда характеристическое сопротивление фильтрующего контура выбирается равным сопротивлению антенной цепи. В схеме на рис. 3-36, *в* отсасывание усиливается с увеличением связи контура $L_ф C_ф$ с контуром LC. Кроме того, во всех схемах степень подавления возрастает с увеличением добротности контуров $L_ф C_ф$, но при этом сужается полоса подавляемых частот.

Связанные системы. Часто оказывается, что фильтрующие свойства одиночного контура недостаточны для эффективного отделения смежных частот от резонансной или же при необходимости равномерно усилить некоторую полосу частот, наоборот, резонансная кривая одиночного контура оказывается слишком узкой. Для улучшения формы резонансной кривой применяют два или больше связанных между собой колебательных контуров. Такие цепи называются связанными системами и по своим свойствам могут быть причислены к полосовым электрическим фильтрам.

Связывать колебательные контуры между собой можно теми же способами, что и одиночный контур со схемой. Наиболее распространенные схемы связи двух контуров представлены на рис. 3-37.

Если связанная система предназначена для работы только на одной частоте, как это имеет место, например, в фильтрах промежуточной частоты, то выбор способа

связи принципиальной роли не играет, важна лишь степень связи контуров. Если же колебательные контуры перестраиваются (например, в каскаде высокой частоты радиоприемника), то играет роль и способ связи контуров, так как от него зависит изменение степени связи при перестройке контуров на различные частоты.

Чтобы при перестройке контуров резонансная кривая системы по возможности не изменялась, применяют такой способ связи, который обеспечивает наибольшее постоянство степени связи вне зависимости от частоты и настройки контуров, например схему на рис. 3-37, *г*. Заметим, что в связанных системах должна быть предотвращена непредусмотренная связь между контурами за счет взаимодействия магнитных полей их катушек, для чего катушка каждого колебательного контура должна быть помещена в самостоятельный экран (это, конечно, не относится к схеме на рис. 3-37, *а*, использующей именно магнитную связь между катушками контуров).

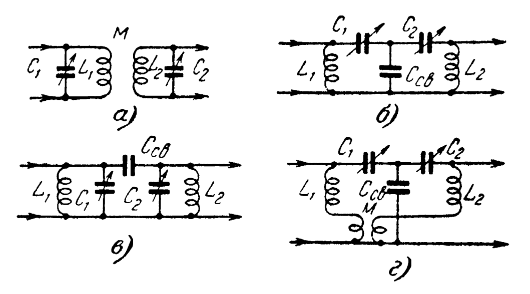


Рис. 3-37. Схемы связанных колебательных контуров.

а — индуктивно связанные контуры; *б* — контуры с внутренней емкостной связью; *в* — контуры с внешней емкостной связью; *г* — с индуктивно-емкостной связью.

Чем слабее связь между контурами, тем меньшая доля энергии передается через систему, но тем острее резонансная кривая. При увеличении связи напряжение после фильтра возрастает, а резонансная кривая расширяется. Начиная с определенной степени связи, оба контура так воздействуют друг на друга, что вместо одной получаются как бы две резонансные частоты: в кривой настройки появляются два горба (рис. 3-38).

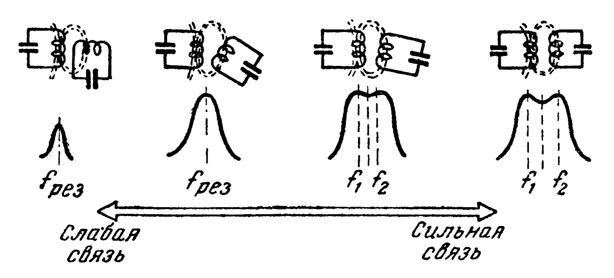


Рис. 3-38. Зависимость формы резонансной кривой от степени связи.

При умеренно сильной связи получается резонансная кривая, близкая к прямоугольной форме. Чем сильнее связь, тем дальше отстоят друг от друга частоты f_1 и f_2, т. е. полоса пропускания частот становится шире. Свойством связанных систем изменять форму резонансной кривой при изменении степени связи между колебательными контурами пользуются для регулирования полосы пропускаемых частот.

Настройка колебательных контуров. Ширина полосы пропускаемых колебательным контуром частот весьма мала в сравнении с резонансной частотой его. Поэтому самый небольшой сдвиг резонансной частоты контура может привести к полному выходу спектра полезного сигнала за пределы полосы пропускания.

Таким образом колебательный контур является цепью, требующей особо точной настройки. Обычные для сопротивлений радиоаппаратуры допуски 5—10% по отношению к емкости и индуктивности колебательных контуров оказываются совершенно неприемлемыми. Мало того, наличие трудно учитываемых в расчете монтажных и междуэлектродных емкостей приводит к тому, что детали колебательного контура, как правило, не могут быть заранее выполнены с необходимой точностью и требуется окончательная точная настройка его непосредственно в смонтированном аппарате.

Необходимая точность настройки колебательного контура зависит от действующей добротности его и должна быть не хуже $\frac{10}{Q}$ %. Так, например, при добротности $Q = 100$ требуется точность настройки не хуже 0,1%.

Рассмотрим основные типы настройки контуров.

Фиксированная настройка (настройка контура на одну постоянную для его работы частоту) достигается надлежащим подбором конденсатора и катушки. Контуры с фиксированной настройкой обычно все же снабжаются маленьким подстроечным конденсатором или же конструкция катушки предусматривает возможность незначительного изменения ее индуктивности, чтобы при налаживании радиоприбора или его ремонте можно было легко достичь или восстановить резонанс контура на заданной фиксированной частоте.

Плавная настройка предусматривает возможность плавного изменения резонансной частоты колебательного контура в широких пределах, совокупность же всех резонансных частот от низшей до высшей при этом называется диапазоном частот данного контура. Плавную настройку обычно производят изменением емкости, для чего применяют конденсаторы переменной емкости.

Коэффициент перекрытия диапазона показывает, во сколько раз в данном контуре высшая частота диапазона больше низшей:

$$k_д = \frac{f_в}{f_н}, \qquad (3\text{-}73)$$

или, учитывая выражение резонансной частоты (3-43а),

$$k_д = \sqrt{\frac{C_{макс} + C_0}{C_{мин} + C_0}}, \qquad (3\text{-}73а)$$

где $C_{макс}$ и $C_{мин}$ — соответственно максимальная и минимальная емкости конденсатора настройки;

C_0 — сумма всех монтажных и прочих емкостей, присоединенных параллельно контуру.

Как это видно из формулы (3-73а) наличие емкости C_0 уменьшает коэффициент перекрытия диапазона, поэтому надо стремиться к возможному ее уменьшению.

Грубая настройка, или переключение диапазонов, применяется как дополнительное средство расширения диапазона частот при плавной настройке контура. Грубая настройка обычно осуществляется скачкообразным изменением индуктивности.

Основные две схемы грубой настройки приведены на рис. 3-39. Часто отдают предпочтение схеме с отдельными катушками L_1 и L_2, которая делает налаживание аппаратуры на каждом диапазоне независимым и тем упрощает его.

Растянутая настройка. Для облегчения настройки на коротковолновом диапазоне, где относительная ширина канала одной радиостанции чрезвычайно мала, во всех современных радиовещательных приемниках применяется

так называемая растянутая настройка, которая состоит в том, что коротковолновый диапазон разбивается на несколько отдельных участков (поддиапазонов) и настройка каждого из поддиапазонов растягивается на всю шкалу. Это требует уменьшения коэффициента перекрытия на каждом поддиапазоне по сравнению с его значением на средних и длинных волнах, для чего нужно уменьшить максимальную емкость $C_{макс}$ конденсатора настройки.

Это достигается либо применением на коротких волнах других конденсаторов переменной емкости с меньшим значением $C_{макс}$, либо включением специальных «растягивающих» конденсаторов постоянной емкости (рис. 3-40).

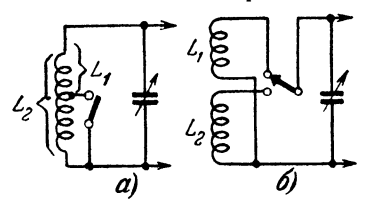


Рис 3-39. Две схемы переключения диапазонов настройки («грубая» настройка).

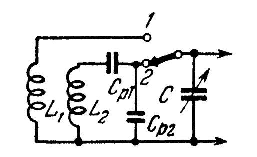


Рис. 3-40. Схема контура с растянутой настройкой на диапазоне 2 (на диапазоне 1 — обычная настройка).

В последнем случае общая емкость, присоединенная к контурной катушке, уменьшается, причем в зависимости от величины C_{p1} она может оказаться в конце диапазона лишь немногим больше, чем в начале, и, следовательно, коэффициент перекрытия диапазона можно сделать сколь угодно малым, обеспечив этим очень медленное изменение резонансной частоты по шкале настройки.

Смотря по достигаемому коэффициенту перекрытия, различают полурастянутую настройку, когда каждый поддиапазон в 2—3 раза меньше обычного, и собственно растянутую, когда каждый поддиапазон составляет $^1/_{15}$—$^1/_{30}$ часть обычного коротковолнового диапазона.

Подстройка перестраиваемого контура необходима при налаживании аппаратуры по тем же причинам, что и подстройка контуров с фиксированной настройкой. Для этой цели, как и там, принимаются те же самые меры (добавление к контуру подстроечного конденсатора, применение катушки с подвижным сердечником или иные средства изменения индуктивности в небольших пределах).

Согласованная настройка. В диапазонных усилителях высокой частоты и в настраивающихся связанных системах необходимо одновременно перестраивать все контуры, причем их резонансные частоты в любой момент их настройки должны точно совпадать, это и понимается под согласованной настройкой. Если f_1, f_2 и т. д. означают резонансные частоты первого, второго, третьего и т. д. колебательных контуров, то условие согласованной настройки требует, чтобы $f_1 = f_2 = f_3 = \dots$

Выражая частоты через L и C формулой (3-43а), условие согласованной настройки можно записать в форме

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_3C_3}} = \dots$$

или

$$L_1C_1 = L_2C_2 = L_3C_3 = \dots \qquad (3\text{-}74)$$

Из полученного выражения следует, что для достижения резонанса контуров на одинаковой частоте достаточно подобрать L и C так, чтобы их произведения в каждом контуре были одинаковыми.

Однако на практике, особенно в контурах, перестраиваемых с помощью конденсаторов переменной емкости, прибегают почти всегда к употреблению одинаковых и катушек, и конденсаторов. Но даже применение одинаковых L и C еще не гарантирует точного совпадения резонансных частот всех контуров в любой точке диапазона и необходимо дополнительное выравнивание индуктивности и емкости каждого контура, а также строгая идентичность конденсаторов переменной емкости. В связи с этим в контурах согласованной настройки всегда желательны два органа подстройки: подстроечный конденсатор и подстройка индуктивности (рис. 3-41).

Сопряженная настройка применяется в супергетеродинных приемниках и в некоторых радиоизмерительных приборах. Она предусматривает такую одновременную настройку двух колебательных контуров, что разность между их резонансными частотами все время остается неизменной. Если эту разность обозначить через Δf, а частоты одного и другого контура через f_1 и f_2, то условие сопряженной настройки будет:

$$\Delta f = f_2 - f_1 = \textit{постоянная величина}, \qquad (3\text{-}75а)$$

которое должно оставаться верным для любого значения f_1. Это возможно лишь в том случае, если f_2 не будет принимать произвольных значений, а будет сопряжено с f_1 равенством

$$f_2 = f_1 + \Delta f, \qquad (3\text{-}75б)$$

т. е. будет всегда превышать f_1 на Δf.

Точное сопряжение в любой точке диапазона возможно только лишь при применении в контурах специально рассчитанных конденсаторов переменной емкости или особых ферроиндукторов. На практике применяется и обеспечивает достаточно хорошее сопряжение особая схема с обычными одинаковыми конденсаторами переменной емкости (рис. 3-42).

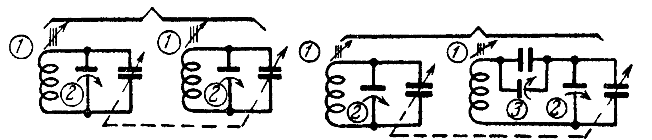


Рис. 3-41. Схема контуров с согласованной настройкой.

Рис. 3-42. Схема контуров с сопряженной настройкой.

Схема на рис. 3-42 обеспечивает точное сопряжение только на трех частотах, зависящих от соотношения индуктивностей и емкостей обоих колебательных контуров, на остальных же частотах получаются большие или меньшие расхождения. Для достижения наилучшего сопряжения здесь требуются уже не два органа подстройки, как при согласованной настройке, а три.

Электрические фильтры. В наиболее ответственных случаях, когда требуется особенно крутой спад частотной характеристики за пределами полосы пропускания и минимальные частотные искажения в пределах ее, применяют многозвенные электрические фильтры, составляемые из индуктивностей и емкостей. Такие фильтры работают лучше всего, когда сопротивление нагрузки согласовано с сопротивлением генератора (цепи, предшествующей фильтру) и с характеристическим сопротивлением фильтра, а катушки и конденсаторы, примененные в фильтре обладают минимальными потерями (Q катушек максимально, $\operatorname{tg}\delta$ конденсаторов минимален) вне зависимости от необходимой полосы пропускания.

Схемы электрических фильтров чрезвычайно многообразны и мы рассмотрим только простейшие из них.

Фильтры нижних частот. На рис. 3-43, *а* изображена такая же схема, как и на рис. 3-29, *а*, только вместо активного сопротивления R включена индуктивность. Назначение фильтра на рис. 3-43, *а* то же, что и ячейки на рис. 3-29, *а* (пропускать нижние частоты и постоянный

ток, а верхние частоты срезать), но замена активного сопротивления индуктивным значительно улучшает фильтрующие свойства цепи.

Действительно, последовательное активное сопротивление в ячейке RC на всех частотах действует одинаково и срезанию верхних частот способствует только конденсатор C, который предоставляет им путь помимо нагрузочного сопротивления. В фильтре же LC срезанию верхних частот способствует и катушка L, индуктивное сопротивление которой с повышением частоты возрастает и преграждает доступ верхних частот к нагрузочному сопротивлению.

Лучшими фильтрующими свойствами обладают Т-образный (рис. 3-43, *б*) и П-образный (рис. 3-43,*в*) фильтры нижних частот. Если требуется очень резко отделить верхние частоты от нижних или когда должны быть хорошо срезаны частоты, близкие к передаваемым, применяют многозвенные фильтры, составленные последовательным включением нескольких Т- или П-образных звеньев.

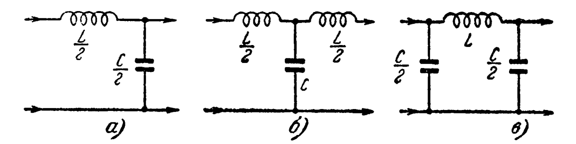


Рис. 3-43. Фильтры нижних частот.
а — Г-образный; *б* — Т-образный; *в* — П-образный.

Расчет фильтров нижних частот производится по заданным величинам R — активного нагрузочного сопротивления (оно же равно сопротивлению источника тока) и f_c — частоты среза (наиболее высокой из нижних частот, подлежащих передаче в нагрузочное сопротивление). По этим величинам определяют значения L и C:

$$L = \frac{R}{\pi f_c}; \quad C = \frac{1}{\pi f_c R}, \tag{3-76}$$

где L — *гн*;
C — *ф*;
R — *ом* и
f_c — *гц*.

Фильтры верхних частот (рис. 3-44) служат для пропускания всех частот выше частоты среза f_c и поглощения более низких частот. Их схемы аналогичны схемам фильтров нижних частот, но индуктивности и емкости взаимно меняются местами. Расчет фильтров верхних частот производится по формулам.

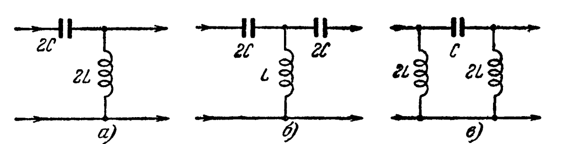


Рис. 3-44. Фильтры верхних частот.
а — Г-образный; *б* — Т-образный; *в* — П-образный.

$$L = \frac{R}{4\pi f_c}; \quad C = \frac{1}{4\pi f_c R}. \tag{3-77}$$

Полосовые фильтры применяются в тех случаях, когда требуется передать полосу частот, в пределах от f_1 до f_2, а частоты, лежащие ниже и выше этой полосы, необходимо срезать.

Простейший полосовой фильтр представляет собой цепь из последовательно соединенных емкости C и индуктивности L, включенную в один из проводов между источником тока и нагрузочным сопротивлением $R_н$ (рис. 3-45, *а*). Известно, что такая цепь может быть настроена в резонанс напряжений, при котором полное сопротивление ее уменьшается до величины сопротивления активных потерь r. Для частот более низких и более высоких, чем резонансная частота, полное сопротивление цепи возрастает.

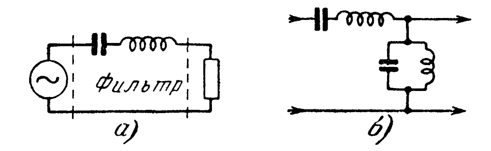


Рис. 3-45. Простейшие полосовые фильтры.

Указанная схема дает удовлетворительные результаты, если нужно передать узкую полосу частот, при этом L и C должны быть рассчитаны на резонансную частоту f_0, равную средней геометрической между частотами среза f_1 и f_2:

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2} \tag{3-78}$$

Но при необходимости пропустить относительно широкую полосу часто применяют более сложные полосовые фильтры, включающие в себя также параллельно соединенные L и C (рис. 3-45, *б*). Добавление параллельных ветвей из LC обеспечивает более резкое срезание частот, граничащих с частотой среза. Еще лучшие результаты дает включение последовательно нескольких таких звеньев.

Расчет таких фильтров довольно сложен, и методы его разнообразны в зависимости от схемы фильтра. Следует однако иметь в виду, что так называемая средняя частота полосы пропускания f_0 лежит не посередине ее, а ближе к нижней частоте среза f_1 и сдвиг ее от арифметической середины тем больше, чем шире полоса пропускания.

Полосовыми фильтрами являются и связанные резонансные цепи (рис. 3-37), рассмотренные выше.

Заграждающие фильтры имеют свойства, противоположные полосовым фильтрам; они преграждают путь токам определенной полосы частот от f_1 до f_2, а токи частот ниже и выше этой полосы пропускают свободно.

Простейший тип заграждающего фильтра был рассмотрен нами выше (рис. 3-36) под названием фильтра-пробки.

Более крутые срезы граничащих частот дают сочетания параллельных и последовательных цепей LC, составленные в виде многозвенного заграждающего фильтра.

Во всех электрических фильтрах, как и в связанных системах, содержащих две и более катушки индуктивности, недопустимо наличие индуктивной связи между катушками различных звеньев (исключая, конечно, полосовые фильтры, основанные на индуктивной связи между звеньями). Для предотвращения паразитной индуктивной связи каждое звено фильтра тщательно экранируется.

Цепи *RLC* с низкой добротностью. Чрезвычайно важное значение в формировании частотной характеристики усилителей низкой частоты и видеоусилителей играют цепи, представляющие собой сочетание активного сопротивления R, индуктивности L и емкости C, типа на рис. 3-46, *а*. Именно так выглядит эквивалентная схема всякого низкочастотного трансформатора в области высших частот, причем в качестве R выступает сумма внутреннего сопротивления выходной лампы R_i и сопротивления, внесенного в контур со стороны нагрузки, в качестве L — индуктивность рассеяния трансформатора L_s, а в качестве C — приведенная к первичной обмотке емкость вторичной цепи (включая собственную емкость вторичной обмотки трансформатора).

К такому же виду можно привести многие схемы высокочастотной коррекции в видеоусилителях, причем тут в качестве R выступает сопротивление анодной нагрузки лампы $R_а$, а в качестве C — паразитная емкость, шунтирующая цепь связи (монтажная плюс междуэлектродная). Примеры схем, приводящихся к цепи на рис. 3-46, *а*, даны на рис. 3-46, *б*, *в* и *г*.

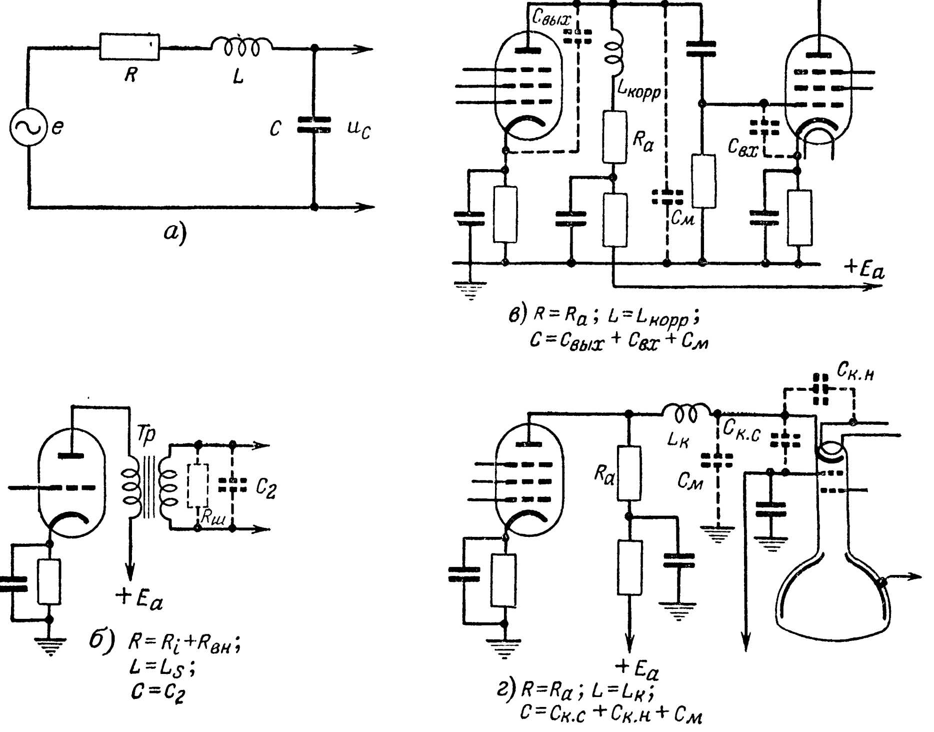


Рис. 3-46. Контур RLC (*а*) и схемы, приводящиеся к нему.

б — трансформаторный усилитель низкой частоты; *в* и *г* — видеоусилитель с простой коррекцией в области высших частот. $C_м$ — емкость монтажа

Рассматриваемая цепь представляет собой колебательный контур, у которого однако в перечисленных случаях добротность оказывается очень низкой (около

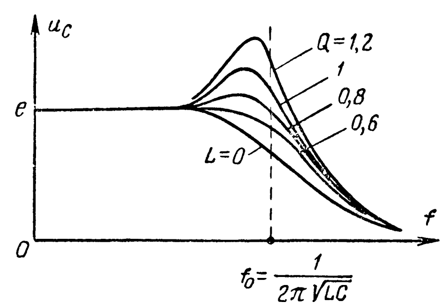


Рис. 3-47. Частотная характеристика схемы рис. 3-46, *а*.

единицы). В связи с этим частотные характеристики такого контура (рис. 3-47) существенно отличаются от резонансных кривых, напоминая скорее характеристики фильтра нижних частот, как на рис. 3-27, *а*. Под добротностью здесь, как обычно, понимается отношение

$$Q = \frac{\varrho}{r},$$

которое в данном случае удобно записать в форме

$$Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}. \qquad (3\text{-}79)$$

Из графиков на рис. 3-47 с учетом соотношения (3-79) видно, что небольшое отклонение в величинах R, L или C может существенно повлиять на ход частотной характеристики цепи, приводя либо к пологому, либо к крутому спаду ее, либо даже к появлению резонансного подъема. Характерно, что у такой цепи резонансная частота получается ниже собственной частоты элементов LC и зависит от величины активного сопротивления R.

Для наименьших искажений изображения в видеоусилителе необходимо иметь Q около 0,64. Увеличение значения Q, особенно при наличии нескольких каскадов усиления, приводит к появлению выброса при усилении прямоугольного перепада напряжения, что проявляется на изображении в виде окантовки. Снижение значения Q вызывает удлинение фронтов импульсов, и границы изображений получаются размытыми, нечеткими. Однако при проектировании видеоусилителей иногда отклоняются от указанного значения добротности, добиваясь в то же время взаимной компенсации искажений в различных каскадах.

В низкочастотных усилителях с трансформаторами появление подъема в области высших частот приводит к увеличению мощности шумов и ухудшает фазовую характеристику усилителя, что в свою очередь, ограничивает допустимую глубину отрицательной обратной связи (см. стр. 101).

Средством подавления резонансного подъема, связанного с повышенным значением Q, является снижение добротности, что, как видно из формулы (3-79), может быть достигнуто увеличением сопротивления R. В трансформаторных усилителях для этого прибегают к шунтированию вторичной обмотки сопротивлением $R_ш$, а в видеоусилителях шунтируют индуктивность L или уменьшают значение индуктивности.

Для предотвращения нежелательных эффектов в трансформаторных усилителях надо всегда стремиться к минимальному значению индуктивности рассеяния низкочастотных трансформаторов. В целях расширения полосы пропускаемых частот надо также бороться за минимальные емкости вторичных обмоток и цепей, присоединенных к ним.

Цепь типа на рис. 3-46, *а* иногда применяется в качестве фильтра нижних частот для резкого ограничения прохождения частот выше f_0, причем также необходимо $Q < 1$. Эта цепь дает в 3 раза более крутой спад, чем RC цепь типа на рис. 3-29, *а*.

3-5. Нелинейные цепи

Нелинейные элементы электрической цепи. Электрические цепи, параметры (сопротивление, емкость и т. д.), которых не зависят от величины действующих на них токов или напряжений, называются линейными цепями. Наряду с такими цепями, основные законы которых были изложены в предыдущих разделах, чрезвычайно важное значение в радиотехнике играют так называемые «нелинейные» цепи, у которых параметры отдельных элементов существенно зависят от величины напряжения или тока. Только благодаря таким элементам удается генерировать и модулировать колебания, детектировать их, преобразовывать частоту, выпрямлять и стабилизировать ток или напряжение и решать много других важных задач. В иных случаях нелинейные свойства электрических цепей оказываются вредными и приводят к нежелательным эффектам, например, к искажению формы усиливаемого сигнала.

Типичными нелинейными элементами являются все электронные лампы и полупроводниковые приборы. Но иногда нелинейные свойства обнаруживают и самые обыкновенные детали, как например, «постоянные» сопротивления или трансформаторы низкой частоты.

Важнейшим свойством нелинейных цепей является их способность изменять спектр сигнала. Прикладывая, например, к цепи с полупроводниковым диодом чисто синусоидальное напряжение, можно обнаружить, что ток через диод приобретает несинусоидальную форму, хотя и сохраняет период напряжения. Это значит, что в составе тока появились новые составляющие с частотами в целое число раз превышающими частоту напряжения — гармоники. Преобразователями спектра являются по существу все упомянутые выше нелинейные схемы (детекторы, генераторы, модуляторы и др.).

Другая особенность нелинейных элементов состоит в том, что нелинейные свойства их начинают проявляться лишь с определенных значений напряжения или тока. При достаточно малых напряжениях (тока) все элементы электрической цепи ведут себя как линейные. Известно, например, что при снижении громкости нелинейные искажения в усилителе низкой частоты резко уменьшаются. Успешное детектирование высокочастотного сигнала происходит только при достаточной величине его, для чего обычно приходится высокочастотный сигнал предварительно усиливать.

Наконец, надо твердо помнить, что к электрическим цепям, находящимся в нелинейном режиме, нельзя применять закон Ома и многие другие удобные расчетные формулы, причем расчет чрезвычайно усложняется.

Свойства нелинейных элементов чаще всего представляют с помощью графиков, выражающих зависимость тока от напряжения — так называемых вольт-амперных характеристик.

Вольт-амперная характеристика линейного элемента (рис. 3-48, *а*) имеет вид прямой линии, угол наклона которой к оси напряжения (α) определяет неизменную величину электрического сопротивления этого элемента:

$$R = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}. \tag{3-80}$$

У нелинейных элементов вольт-амперная характеристика принимает вид кривой или изломанной линии (рис. 3-48, *б*, *в*). Изменение наклона вольт-амперной характеристики означает изменение электрического сопротивления (см. нижние графики на рис. 3-48, *б* и *в*).

Нелинейные элементы характеризуются еще тем обстоятельством, что в цепях пульсирующего тока они проявляют различное сопротивление для постоянной и переменной составляющей. С этими явлениями мы встречаемся, например, в анодной цепи электронной лампы. Внутреннее сопротивление пентода обычно составляет сотни килоом, но если мы поделим постоянное анодное напряжение (порядка 250 *в*) на анодный ток (5—10 *ма*), то получим значительно меньшую величину (25—50 *ком*), характеризующую сопротивление промежутка анод—катод постоянному току. Более подробно этот вопрос освещается ниже, а сейчас перейдем к рассмотрению наиболее употребительных нелинейных элементов и важнейших схем их применения.

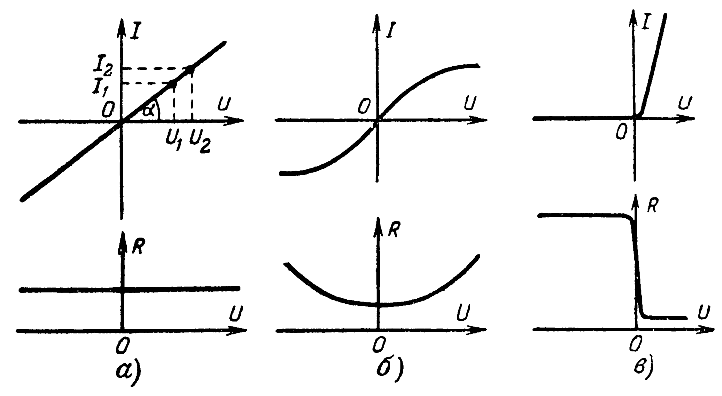


Рис. 3-48. Вольт-амперные характеристики (наверху) и зависимости сопротивления от напряжения (внизу) для линейной цепи (*а*), стабилизатора тока (*б*) и диода (*в*).

Нелинейные металлические проводники. Мы уже неоднократно отмечали изменение электрического сопротивления металлических проводников при нагреве их током. У подавляющего большинства металлов электрическое сопротивление при этом возрастает и следовательно по мере повышения напряжения на концах такого проводника ток растет медленнее, чем это следовало бы из закона Ома при расчете на неизменное сопротивление.

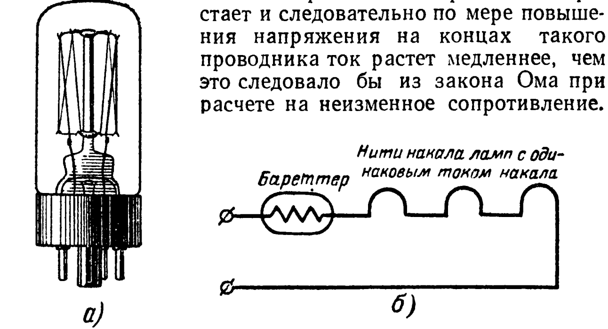


Рис. 3-49. Внешний вид (*а*) и схема включения *б*) бареттера.

Характер зависимости тока от напряжения в этом случае иллюстрируется на рис. 3-48, *б*.

На этом явлении основано действие стабилизаторов тока, называемых б а р е т т е р а м и.

Бареттер (рис. 3-49, *а*) состоит из тонкой стальной нити, помещенной в баллон, наполненный водородом. Сталь выбрана в связи с тем, что она обладает наибольшим температурным коэффициентом сопротивления (см. табл. 3-1), а водород применен для создания определенного теплового баланса, при котором электрическое сопротивление нити возрастает почти прямо пропорционально напряжению на ее концах. В результате этого ток в цепи

с бареттером при довольно сильных изменениях напряжения остается почти неизменным.

Бареттер вводится в стабилизируемую цепь последовательно (рис. 3-49, *б*), причем напряжение, подводимое к цепи, увеличивают на величину номинального падения напряжения на бареттере. Пределы падающего на бареттере напряжения, при которых достигается хорошая стабилизация тока, ограничены и оговариваются в справочных данных. Параметром бареттера является и номинальное значение стабилизируемого тока.

С нелинейностью подобного же рода приходится сталкиваться и у нитей накала ламп. При включении радиоаппарата до тех пор, пока лампы его не прогреются, сопротивление нитей имеет пониженное значение и через них проходит ток большей величины, чем в нормальном установившемся режиме. Первые секунды после включения оказываются поэтому наиболее опасными для нитей ламп, особенно в схемах универсального питания, где нити ряда ламп соединяются последовательно. В последнем случае за счет неодинакового времени разогрева на нитях отдельных ламп могут возникать большие перенапряжения, сокращающие срок службы этих ламп. В самом неблагоприятном положении оказываются наиболее старые лампы, у которых нити стали тоньше, и осветительные лампочки, обладающие малым временем разогрева.

Особенностью нелинейных сопротивлений, нелинейность которых связана с нагревом, является инерционность их, т. е. замедленная реакция на изменение тока или напряжения. Поэтому, например, бареттеры не способны стабилизировать быстрые и резкие изменения тока. На этой особенности основано применение лампочек накаливания в качестве автоматических регулирующих элементов, следящих за средним (точнее — за действующим) значением напряжения в цепях переменного тока (например, в низкочастотных *RC* генераторах, экспандерах).

Полупроводниковые термосопротивления. Совершенно иной механизм нелинейности проявляют приобретающие сейчас широкое распространение полупроводниковые материалы. Если в проводниковых металлах количество свободных электронов, способных участвовать в перенесении электрических зарядов, не зависит от температуры, и зависимость сопротивления от температуры обусловлена лишь влиянием тепловых колебаний ионной решетки на подвижность электронов, то в полупроводниках, прежде всего, от температуры зависит само количество свободных носителей заряда. По мере повышения температуры все большее количество электронов высвобождается из связей, обусловливающих кристаллическую структуру полупроводника, и проводимость кристалла увеличивается. Одновременно с высвобождением каждого электрона, в месте, где он находился, образуется как бы дырка, характеризующаяся наличием нескомпенсированного положительного заряда. На место дырки может перескочить затем один из соседних невысвобожденных электронов, при чем дырка оказывается на новом месте. Это проявляется подобно перемещению положительного заряда. Таким образом, в полупроводниках электрический ток представляется передвижением двух видов носителей электричества: отрицательных — электронов и положительных — «дырок». С повышением температуры число носителей возрастает и сопротивление полупроводника уменьшается.

Эти явления используются для создания полупроводниковых нелинейных сопротивлений — термисторов (рис. 3-50). Зависимость сопротивления от температуры у термисторов обратная в сравнении с металлическими проводниками, а потому и вольт-амперные характеристики их имеют противоположный характер (сравни рис. 3-50, *в* с рис. 3-48, *б*). Возможно получение таких термисторов, что по мере увеличения тока через них напряжение перестает расти и даже начинает уменьшаться (кривая *2* на рис. 3-50, *в*).

Наряду с термисторами прямого нагрева (рис. 3-50, *а*) изготовляются термисторы с косвенным нагревом (рис. 3-50, *б*), которые позволяют управлять сопротивлением одной цепи путем изменения тока в другой цепи.

Как и металлические нелинейные сопротивления, термисторы являются инерционными приборами. В цепях переменного тока они, как правило, не успевают «следить» за мгновенными значениями тока и реагируют только на изменение действующего значения тока.

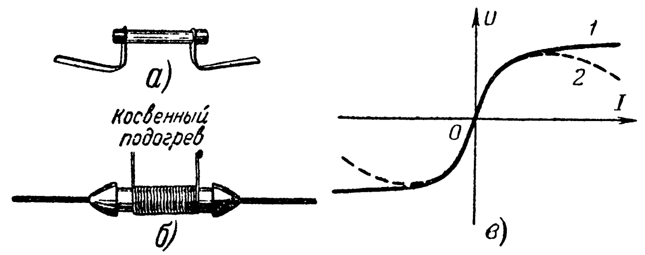


Рис. 3-50. Внешний вид (*а* и *б*) и вольт-амперные характеристики (*в*) термисторов.

Термисторы нашли уже широкое применение в разнообразной измерительной аппаратуре, в схемах автоматического регулирования, управления и стабилизации. Их применяют также в качестве защитных устройств от перенапряжений и для ограничения пусковых токов.

На рис. 3-51 представлена схема включения термисторов в цепях приемника с универсальным питанием. Термистор TC_1 служит для предотвращения перенапряжения на электролитических конденсаторах фильтра выпрямителя. Здесь используется термистор с малой тепловой инерцией с тем, чтобы при возникновении перенапряжения, например, после включения аппарата в период прогрева ламп, он сразу же нагревался и забирал на себя достаточный ток. Термистор TC_2 служит для ограничения пускового тока нитей накала. Он напротив должен обладать большой тепловой инерцией для того, чтобы во время нагрева нитей ток ограничивался высоким «холодным» сопротивлением его. Когда же нити ламп прогреются и их сопротивление возрастет, сопротивление термистора уменьшится и ток достигнет номинального значения.

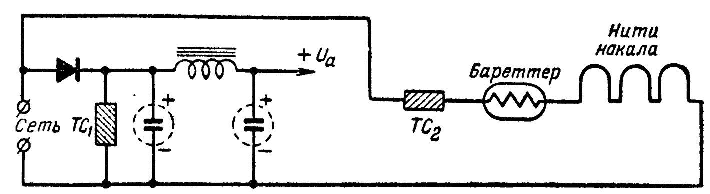


Рис. 3-51. Схема цепей питания приемника с универсальным питанием с применением термисторов.

Широкое применение начинают находить термисторы в аппаратуре с транзисторами, где они позволяют существенно улучшить температурную стабильность и расширить диапазон рабочих температур многих схем.

Газоразрядные стабилитроны. Для стабилизации постоянного напряжения в цепях питания ламп радиоаппаратуры находят применение газоразрядные стабилизаторы, основанные на тлеющем разряде, — с т а б и л и т р о н ы.

Стабилитрон (рис. 3-52, *а*) состоит из двух металлических электродов (обычно в виде стержня и окружающего

его цилиндра), которые введены в баллон, наполненный инертным газом (неоном, аргоном).

Когда приложенное к электродам напряжение превышает определенное для данного стабилитрона значение, называемое напряжением зажигания ($U_з$ на рис. 3-52, *б*), происходит интенсивная ионизация газа, сопровождающаяся появлением свечения. При этом через стабилитрон начинает проходить значительный ток, который в отсутствии внешнего ограничительного сопротивления моментально нарастает до разрушающих прибор значений. При наличии же ограничительного сопротивления (R_1 на рис. 3-52, *в*) падение напряжения на зажженном стабилитроне ($U_{ст}$) оказывается слабо зависящим от величины тока в довольно широком интервале его значений (в области *А—Б* на рис. 3-52, *б*).

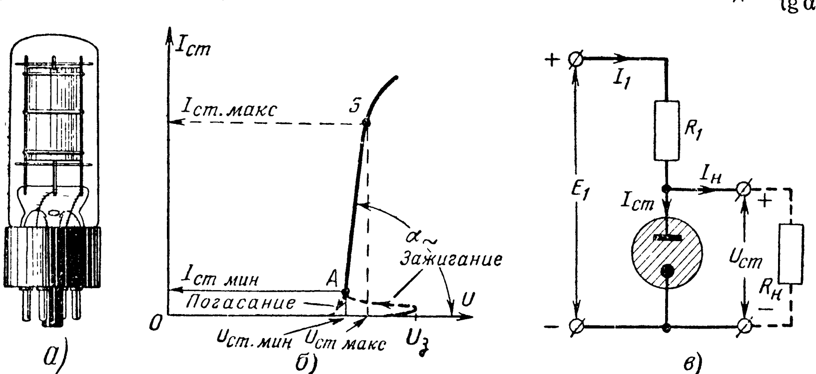


Рис. 3-52. Внешний вид (*а*), вольт-амперная характеристика (*б*) и схема включения (*в*) стабилитрона.

По мере увеличения тока $I_{ст}$ покрывается свечением все большая часть поверхности катода (внутренней поверхности цилиндра). После того, как катодное свечение распространится на всю поверхность катода (это происходит при токе через стабилитрон $I_{ст.\ макс}$), падение напряжения на стабилитроне начинает сильно зависеть от тока, а сам стабилитрон подвергается опасности быстрого выхода из строя.

Стабилитрон обычно включается в качестве нижнего плеча делителя напряжения (рис. 3-52, *в*). Величина входного напряжения E_1 должна быть на 30—50% выше напряжения зажигания $U_з$. Очень важно правильно выбрать сопротивление R_1. Это сопротивление определяет полный ток I_1 делителя, независимо от тока нагрузки,

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ст}}{R_1}, \qquad (3\text{-}81)$$

который равен сумме токов нагрузки и стабилитрона:

$$I_1 = I_н + I_{ст}. \qquad (3\text{-}82)$$

Поскольку стабилизация при переменной нагрузке происходит за счет перераспределения токов $I_н$ и $I_{ст}$ в соответствии с формулой (3-82), не следует выбирать ток I_1 выше максимально допустимого тока стабилитрона $I_{ст.\ макс}$ и отбирать ток $I_н$, превышающий значения

$$I_{н.\ макс} = I_1 - I_{ст.\ мин}, \qquad (3\text{-}82а)$$

иначе стабилитрон может погаснуть и стабилизация прекратится. По выбранному значению I_1 легко определить необходимое сопротивление R_1 из формулы (3-81), приведенной к виду

$$R_1 = \frac{E_1 - U_{ст}}{I_1}. \qquad (3\text{-}81а)$$

Завышение сопротивления R_1 приводит к тому, что стабилитрон легко гаснет, а занижение R_1 вызывает увеличение тока через стабилитрон и в лучшем случае ухудшает стабилизацию, а в худшем приводит к выходу стабилитрона из строя.

В случае малых или неизменных токов нагрузки рабочую точку стабилитронов выбирают при токе $I_{ст}$, среднем между значениями $I_{ст.\ мин}$ и $I_{ст.\ макс}$ и расчет ведут по формулам (3-82) и (3-81а).

Для оценки стабилизирующего действия стабилитронов часто указывают величину динамического или внутреннего сопротивления [1] их, характеризующего наклон рабочего участка вольт-амперной характеристики:

$$R_д = \frac{1}{\mathrm{tg}\,\alpha_\sim} = \frac{U_{ст.\ макс} - U_{ст.\ мин}}{I_{ст.\ макс} - I_{ст.\ мин}} = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_{ст}}, \qquad (3\text{-}83)$$

где $\Delta U_{ст}$ — приращение напряжения на стабилитроне при приращении тока через него $\Delta I_{ст}$.

Для определения коэффициента стабилизации или коэффициента сглаживания пульсации исходного напряжения E_1 достаточно воспользоваться схемой на рис. 3-52, *в*, заменив в ней стабилитрон сопротивлением, равным $R_д$. Обычно $R_д$ составляет 100—200 *ом*, что значительно меньше $R_н$ и R_1, причем упомянутый коэффициент составляет

$$K_{ст} = \frac{\Delta E_1}{\Delta U_{ст}} = \frac{R_1}{R_д} \qquad (3\text{-}84)$$

и может достигать нескольких десятков.

Пример. Рассчитать R_1 и определить коэффициент стабилизации ячейки со стабилитроном (рис. 3-52, *в*), при питании от нее цепей экранирующих сеток ламп, потребляющих ток 12 *ма*, $E_1 = 250$ *в*, $U_{ст} = 105$ *в*, $R_д = 100$ *ом*, $I_{ст.\ мин} = 5$ *ма*, $I_{ст.\ макс} = 30$ *ма* (стабилитрон типа СГ-2П).

Выберем $I_{ст} = \frac{I_{ст.\ макс} + I_{ст.\ мин}}{2} = 18$ *ма*.

Согласно (3-82)

$$I_1 = 12 + 18 = 30\ ма.$$

и по формуле (3-81)

$$R_1 = \frac{250 - 105}{30} = 4{,}8\ ком.$$

Примем $R_1 = 4{,}7$ *ком* и найдем коэффициент стабилизации

$$K_{ст} = \frac{4{,}7}{0{,}1} = 47.$$

Вентили. Для выпрямления переменного тока в постоянный, необходимый для питания радиоаппаратуры, для детектирования высокочастотных сигналов, а также для решения ряда других специфических задач в радиоаппаратуре находят широкое применение элементы, обладающие односторонней проводимостью, в отношении которых часто пользуются общим названием — вентили.

Радиомастеру чаще всего приходится встречаться с вакуумными диодами (в том числе кенотронами и дио-

[1] Внутреннее сопротивление, проявляемое нелинейными элементами малым приращениям токов или малым переменным токам, часто называют также дифференциальным сопротивлением или сопротивлением переменному току, понимая в последнем случае сопротивление для переменной составляющей пульсирующего тока.

дами для детектирования) и полупроводниковыми (в том числе селеновыми, купроксными, германиевыми и кремниевыми).

Всем этим приборам присущи вольт-амперные характеристики вида на рис. 3-48, *в*, однако каждый из типов имеет некоторые особенности, которые мы вкратце рассмотрим.

В вакуумном диоде (рис. 3-53, *а*) односторонняя проводимость обусловлена тем, что нагрет только один электрод—катод, и только из этого электрода могут вылетать электроны, притягиваемые другим электродом — анодом, при условии, что последнему сообщен положительный потенциал относительно катода. Однако, обладая определенной начальной скоростью, вылетевшие из катода электроны оседают на аноде и в отсутствие внешнего напряжения в цепи катод—анод, что проявляется в наличии так называемого начального анодного тока I_{a0} (рис. 3-53, *б*) при $U_a = 0$. Полное прекращение анодного тока наблюдается при подаче на анод небольшого отрицательного напряжения относительно катода (до —1 *в*), под действием которого скорость электронов, летящих к аноду, снижается до нуля.

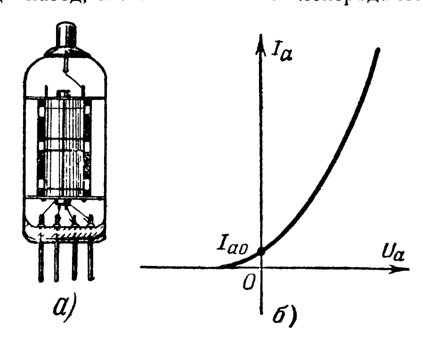


Рис. 3-53. Внешний вид (*а*) и вольт-амперная характеристика (*б*) вакуумного диода.

Вакуумные диоды выпускаются для целей выпрямления переменного тока в схемах питания радиоаппаратуры (кенотроны) и для детектирования. Последние часто сдваиваются и совмещаются в одном баллоне с усилительной лампой (триодом, пентодом). В связи с появлением миниатюрных экономичных полупроводниковых диодов сферы применения вакуумных диодов резко сокращаются.

Полупроводниковые вентили (купроксные, селеновые, германиевые, кремниевые) основаны на использовании односторонней проводимости *p-n* перехода.

В полупроводнике, загрязненном самыми ничтожными количествами определенных примесей, один механизм электропроводности начинает резко преобладать над другим. В связи с этим различают дырочные (*p*) полупроводники, в которых имеется большое количество дырок и мало свободных электронов, и электронные (*n*), в которых, напротив, много свободных электронов и мало дырок. Благодаря особым технологическим приемам удается в объеме или в поверхностном слое одного и того же полупроводника создавать области с противоположными типами проводимости (*p* и *n*). Граница раздела таких областей называется *p-n* переходом.

При приложении напряжения отрицательным полюсом к *n*-области, обогащенной электронами, а положительным к *p*-области, обогащенной дырками, наблюдается свободное прохождение тока через *p-n* переход. Такое включение называется прямым и величина тока при этом может легко нарасти до разрушающих прибор значений, если сопротивление внешней цепи мало. При обратном включении напряжения электроны *n*-области оттягиваются от *p-n* перехода к положительному полюсу источника, а дырки, несущие положительный заряд, компенсируются электронами, поступающими из отрицательного полюса. Область *p-n* перехода обедняется носителями и превращается по существу в изолятор. Ток при этом резко уменьшается. У хороших образцов *p-n* переходов обратный ток не превышает нескольких микроампер.

Однако по мере повышения обратного напряжения может наступить электрический пробой *p-n* перехода, причем через него пойдет большой ток. Одиночные купроксные и селеновые выпрямители (шайбы) обладают низкими пробивными напряжениями (10—20 *в*) и потому их обычно изготавливают в виде столбиков (рис. 3-54, *а*). Германиевые и кремниевые диоды, обладающие пробивным напряжением от десятков до нескольких сотен вольт, выпускаются в виде одиночных элементов (рис. 3-55, *а* и *б*).

Вольт-амперные характеристики купроксных и селеновых вентилей (рис. 3-54, *б*) в области прямых напряжений идут менее круто, чем у германиевых и кремниевых (рис. 3-55, *в*), что свидетельствует о большем прямом сопротивлении их, а в области обратных напряжений отличаются постепенным нарастанием обратного тока, в то время, как у германиевых и кремниевых диодов наблюдается ярко выраженный пробой при некотором значении обратного напряжения $U_{проб}$. Кроме того, купроксным и селеновым вентилям присущи значительно большие обратные токи, чем германиевым и в особенности кремниевым. Все это делает купроксные и селеновые выпрямители неперспективными после появления германиевых и кремниевых диодов.

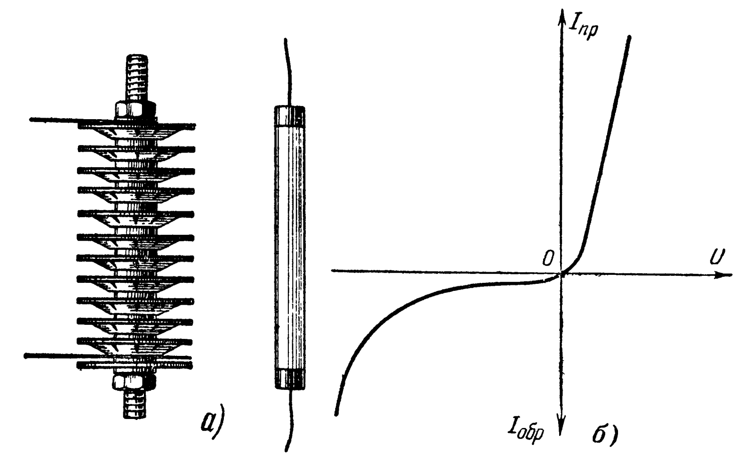


Рис. 3-54. Внешний вид купроксных и селеновых столбиков (*а*) и их вольт-амперная характеристика (*б*).

Германиевые и кремниевые диоды выпускаются двух основных классов: плоскостные, у которых *p-n* переход образован по значительной площади внутри кристалла, и точечные, у которых *p-n* переход образуется в точке соприкосновения металлической иглы с поверхностью кристалла. Плоскостные диоды допускают работу со значительными токами и при высоких обратных напряжениях и являются прекрасными приборами для выпрямителей, питающих радиоаппаратуру. Точечные же диоды отличаются наименьшими емкостями, а потому являются хорошими высокочастотными детекторами, пригодными для работы даже на сверхвысоких частотах.

Когда с целью повышения допустимого обратного напряжения соединяются последовательно два и более германиевых или кремниевых диодов, следует каждый диод шунтировать одинаковым сопротивлением (порядка 100 *ком*), ибо малые и неодинаковые обратные токи, присущие этим приборам, обусловливают неравномерное произвольное распределение обратного напряжения на них.

Рассмотрим наиболее употребительные схемы применения вентилей.

Рис. 3-55. Германиевые и кремниевые диоды.

а — силовые плоскостные; *б* — точечные; *в* — вольт-амперная характеристика.

Выпрямитель с активной нагрузкой. Простейший однополупериодный выпрямитель без сглаживающих пульсацию элементов (рис. 3-56, *а*) встречается в схемах измерительных приборов. В те полупериоды питающего напряжения U_1, когда вентиль оказывается включен в прямом направлении, фактически все напряжение передается от источника в сопротивление нагрузки (график $U_н$). В другие полупериоды ток через вентиль не проходит и все напряжение оказывается приложенным к нему (график $U_в$).

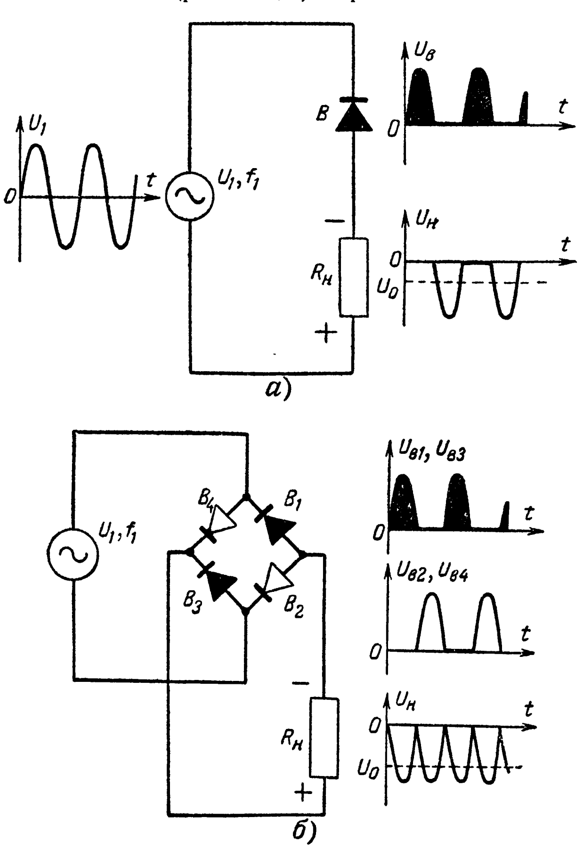


Рис. 3-56. Однополупериодная (*а*) и двухполупериодная (*б*) схемы выпрямителей с активной нагрузкой.

При работе такого выпрямителя от источника синусоидального напряжения ток и напряжение на нагрузочном сопротивлении имеют сложный спектр, включающий в себя постоянную составляющую, переменную составляющую с частотой подведенного напряжения (f_1) и большое число высших гармоник с частотами $2f_1$, $3f_1$ и т. д. Величины постоянных составляющих напряжения и тока в нагрузке определяются половинами средних значений (см. стр. 35):

$$U_0 = 0{,}45U_1; \tag{3-85а}$$

$$I_0 = 0{,}45\,\frac{U_1}{R_н}. \tag{3-86а}$$

В двухполупериодной мостовой схеме (рис. 3-56, *б*) в каждый полупериод одна пара вентилей оказывается включенной в прямом направлении, а на другие два диода действует полное напряжение источника в обратном направлении. При этом постоянные составляющие напряжения и тока в нагрузке удваиваются:

$$U_0 = 0{,}9U_1; \tag{3-85б}$$

$$I_0 = 0{,}9\,\frac{U_1}{R_н}. \tag{3-86б}$$

Удваивается и частота всех переменных составляющих: основная гармоника напряжения на нагрузке имеет частоту $2f_1$, а высшие гармоники — $4f_1$, $6f_1$ и т. д.

В обеих схемах максимальное обратное напряжение для каждого вентиля равно амплитуде подведенного напряжения.

$$U_{обр.\,макс} = \sqrt{2}U_1, \tag{3-87}$$

а максимальный ток через каждый вентиль составляет

$$I_{макс} = \sqrt{2}\,\frac{U_1}{R_н}, \tag{3-88}$$

причем с учетом соотношений (3-86а) и (3-86б) для однополупериодного выпрямителя получим

$$I_{макс} = 3{,}14I_0 \tag{3-88а}$$

и для двухполупериодного

$$I_{макс} = 1{,}57I_0. \tag{3-88б}$$

Эти соотношения позволяют правильно выбирать тип вентиля.

П р и м е р. Магнитоэлектрический миллиамперметр с чувствительностью на всю шкалу 1 *ма* и сопротивлением рамки 150 *ом* приспосабливается для измерения переменного напряжения со шкалой на 15 *в*, для чего последовательно с прибором включается точечный германиевый диод и добавочное сопротивление. Определить величину добавочного сопротивления и требования к диоду.

По формуле (3-86а), приведенной к виду

$$R_н = 0{,}45\,\frac{U_1}{I_0},$$

найдем полное сопротивление, которое должно быть включено последовательно с диодом для того, чтобы постоянная составляющая тока I_0 имела величину 1 *ма* при напряжении $U_1 = 15$ *в*,

$$R_н = 0{,}45\,\frac{15}{1} = 6{,}75\ ком.$$

Поскольку в это сопротивление входит сопротивление рамки прибора $R_р = 150$ *ом*, добавочное сопротивление должно иметь величину

$$R_{доб} = R_р - R_р = 6750 - 150 = 6600 \text{ ом}.$$

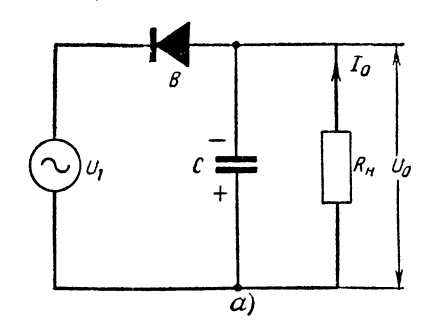
Диод должен допускать прохождение через него импульсов тока

$$I_{макс} = 3{,}14 \cdot 1 = 3{,}14 \text{ ма}$$

и выдерживать обратное напряжение

$$U_{обр.\ макс} = \sqrt{2} \cdot 15 = 21{,}2 \text{ в}.$$

Следует отметить, что все приведенные здесь формулы справедливы для режима, когда прямое сопротивление вентиля во много раз меньше сопротивления нагрузки ($R_{пр} \ll R_н$), а обратное во много раз больше его ($R_{обр} \gg R_н$). Это всегда имеет место при правильном выборе типа вентиля и при больших величинах напряжений U_1 (более 2—5 *в*).



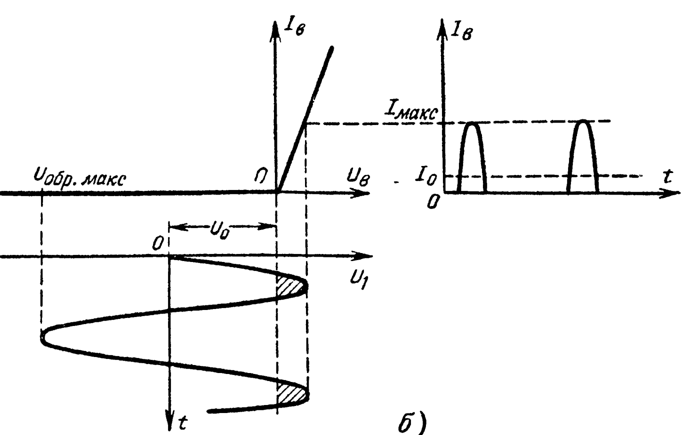


Рис. 3-57. Однополупериодная схема выпрямителя с емкостной нагрузкой (*а*) и графики, поясняющие его работу (*б*).

Интересно то обстоятельство, что хотя вентили являются нелинейными элементами и вместо закона Ома появляются соотношения, содержащие в себе числовые коэффициенты, но все же прямая пропорциональность между током I_0 и напряжением U_1 сохраняется — формулы (3-86а) и (3-86б). Такой режим принято называть линейным детектированием.

При уменьшении напряжения U_1 до десятых долей вольта и ниже или при неблагоприятных соотношениях между $R_{пр}$, $R_{обр}$ и $R_н$ наступает нелинейное детектирование, при котором нарушается прямая пропорциональность между током в нагрузке и подведенным напряжением, выпрямительный эффект резко ослабляется и приведенные выше формулы теряют силу.

Выпрямители с активной нагрузкой часто называют выпрямителями среднего значения тока, ибо постоянная составляющая у них равна среднему значению (при двухполупериодном выпрямлении) или половине среднего значения (при однополупериодном выпрямлении) при любой форме подведенного напряжения.

Выпрямитель с емкостной нагрузкой, детектор, фиксирующая схема. Можно существенно повысить эффективность выпрямителя, заблокировав сопротивление нагрузки конденсатором достаточной емкости, чтобы он представлял малое сопротивление для переменных составляющих тока и замыкал путь им помимо сопротивления нагрузки (рис. 3-57, *а*). При этом происходит сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения. Этой мерой всегда пользуются в выпрямителях для питания радиоаппаратуры и в схемах детектирования высокочастотных колебаний.

Если прямое сопротивление вентиля и внутреннее сопротивление источника достаточно малы в сравнении с сопротивлением нагрузки, то в момент прохождения через вентиль тока конденсатор заряжается до амплитудного значения подведенного напряжения $U_1\sqrt{2}$.

Если, далее, постоянная времени $CR_н$ достаточно велика в сравнении с периодом питающего напряжения, то к моменту следующего подзаряда конденсатора через вентиль напряжение на конденсаторе, а значит и на нагрузке, не успевает заметно снизиться. Таким образом выпрямленное напряжение оказывается почти неизменным и очень близким к амплитудному значению подведенного напряжения:

$$U_0 \approx \sqrt{2} U_1, \tag{3-89а}$$

т. е. в 1,5—3 раза выше, чем в схемах с активной нагрузкой. В связи с этим выпрямитель с емкостной нагрузкой часто называют выпрямителем пикового значения напряжения или пиковым детектором.

Однако, наличие конденсатора существенно меняет режим работы вентиля. Обратное напряжение теперь складывается из амплитуды подведенного напряжения и напряжения на нагрузке и приближается к удвоенному значению амплитуды питающего напряжения:

$$U_{обр.\ макс} = 2\sqrt{2} U_1. \tag{3-89б}$$

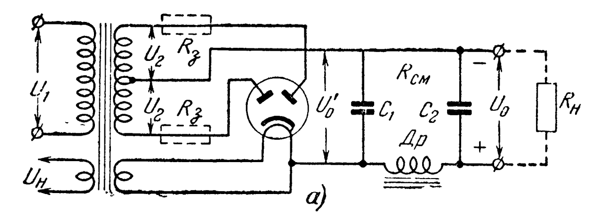
Ток через вентиль уже не проходит в течение целого полупериода, ибо вентиль оказывается все время смещенным в обратном направлении за счет выпрямленного им самим напряжения U_0 (рис. 3-57, *б*). Открывается вентиль лишь в течение небольшой доли периода, когда напряжение источника достигает амплитудного значения и имеет полярность, способную вызвать прохождение прямого тока. При этом импульс тока через вентиль может во много раз превышать ток, потребляемый нагрузкой. При неизменном токе нагрузки эти импульсы тем больше, чем больше емкость конденсатора C и чем меньше внутреннее сопротивление источника тока $R_{вн}$ и прямое сопротивление вентиля $R_{пр}$. В силовых выпрямителях с целью ограничения импульсов тока иногда искусственно увеличивают сумму $R_{вн} + R_{пр}$ путем включения последовательно с вентилем защитного сопротивления ($R_з$ на рис. 3-58, *а*). При этом одновременно улучшается сглаживающее действие конденсатора C, но несколько снижается выпрямленное напряжение.

При использовании схемы на рис. 3-57, *а* в качестве детектора *АМ* колебаний существует оптимальное значение емкости C. При малой емкости снижается получаемое от детектора напряжение н. ч. (низкой частоты) и ухудшается фильтрация высокочастотных составляющих. Чрезмерное же увеличение емкости C приводит к тому, что из-за большой постоянной времени цепи нагрузки ($CR_н$)

напряжение на нагрузке не успевает следовать за быстрыми изменениями огибающей модулированного сигнала. Это приводит к частотным и нелинейным искажениям полезного сигнала, особенно на высших частотах модуляции.

Нелинейные искажения при детектировании возникают также, когда подведенное напряжение мало и не обеспечивается упомянутый выше режим линейного детектирования. Линейное детектирование в схеме с емкостной нагрузкой достигается при напряжении высокочастотного сигнала порядка 1 *в* и выше для вакуумных диодов и начиная с 0,5 *в* для полупроводниковых диодов.

Двухполупериодные схемы выпрямителей с емкостной нагрузкой позволяют получить удвоение основной частоты пульсаций, уменьшают величину переменной составляющей и облегчают дальнейшее сглаживание выпрямленного напряжения. Затем, в двухполупериодных схемах исключается прохождение постоянной составляющей через источник переменного напряжения, что весьма благоприятно сказывается на режиме работы силовых трансформаторов. К. п. д. двухполупериодных выпрямителей выше, чем однополупериодных, режим работы вентилей легче. Наконец, особые двухполупериодные схемы позволяют получать удвоенное выпрямленное напряжение. Все это сделало наиболее распространенными именно двухполупериодные выпрямители.



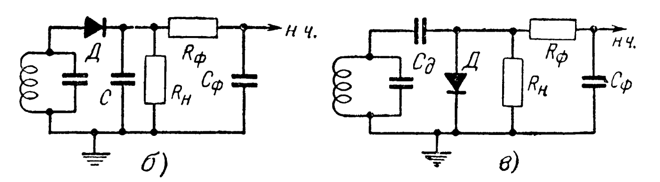


Рис. 3-58. Практические схемы применения однополупериодного выпрямителя с емкостной нагрузкой.

а — выпрямитель для питания анодных цепей ламп; *б* — диодный детектор по последовательной схеме, *в* — то же по параллельной схеме.

Практические схемы выпрямителей и детекторов обычно содержат дополнительные элементы в форме *LC* фильтров или *RC* ячеек (рис. 3-58, *а*, *б*), применяемых для лучшего сглаживания пульсаций, подавления помех или частотной коррекции сигнала.

Наряду с последовательной схемой включения вентиля и нагрузочного сопротивления (рис. 3-58, *б*) употребляют схему параллельного соединения их (рис. 3-58, *в*). В последнем случае функции блокирующего нагрузку конденсатора выполняет разделительный конденсатор $C_д$. Но все эти дополнения и видоизменения не очень сильно отражаются на режиме работы собственно вентиля.

Основные три схемы двухполупериодных выпрямителей с емкостной нагрузкой приведены на рис. 3-60. Как и в однополупериодной схеме (рис. 3-57), в этих схемах через вентили проходят лишь кратковременные импульсы тока, подзаряжающие входные конденсаторы фильтра, которые можно затем рассматривать как непосредственные источники постоянного тока, получаемого от выпрямителя. Если в схемах на рис. 3-60, *а* и *б* вентили работают на один и тот же конденсатор, причем удваивается получаемый от выпрямителя ток, то в схеме на рис. 3-60, *в* каждый вентиль имеет свой собственный зарядный конденсатор и, снимая напряжение с двух

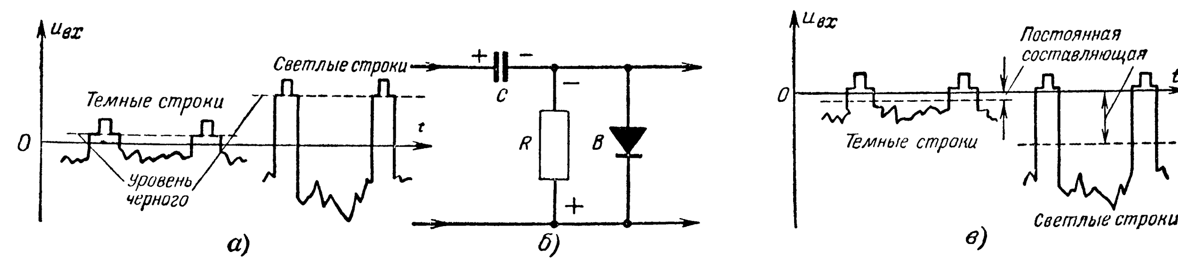


Рис. 3-59. Фиксирующая схема (*б*) и графики входного (*а*) и выходного (*в*) напряжения.

По сути дела, выпрямителем с емкостной нагрузкой является и схема восстановления уровня черного в телевизионных приемниках (рис. 3-59, *б*), называемая также фиксирующей или «привязывающей» схемой.

В принимаемом телевизионном сигнале (рис. 3-59, *а*) уровень черного передается высотой гасящих импульсов, на вершинах которых располагаются синхронизирующие импульсы.

При воздействии такого сигнала на схему пикового детектора образуется постоянная составляющая, привязывающая вершины импульсов к фиксированному уровню. Ток через вентиль, проходящий в моменты действия гасящих импульсов, заряжает конденсатор *С*, который не успевает существенно разрядиться в промежутках между ними через сопротивление *R*, для чего постоянная времени цепи *RC* выбирается значительно больше длительности передачи одной строки (обычно порядка 5 *мсек*).

конденсаторов, соединенных последовательно, получают удвоенное напряжение. Однако в последней схеме в связи с последовательным соединением конденсаторов приходится применять конденсаторы большей емкости, чем в схемах на рис. 3-60, *а* и *б*.

Максимальное обратное напряжение на каждом вентиле в схемах на рис. 3-60, *а* и *в* достигает удвоенной амплитуды первичного напряжения, а в схеме на рис. 3-60, *в* — одной амплитуды его. Поэтому в случаях, когда выпрямляется большое напряжение и приходится соединять шайбы или диоды последовательно, общее число их оказывается одинаковым в любой из схем на рис. 3-60.

Учитывая эти особенности трех схем, чаще всего предпочитают применять схему на рис. 3-60, *б*, для которой требуется обмотка с половинным числом витков по сравнению со схемой на 3-60, *а* и меньшей емкости конденсаторы, чем для схемы на рис. 3-60, *в*.

Полупроводниковый стабилитрон. Эффект лавинообразного нарастания обратного тока в кремниевых диодах в области пробивного напряжения $U_{проб}$ (рис. 3-55, *в*) используется в специальных диодах, предназначенных для стабилизации напряжения — в полупроводниковых стабилитронах.

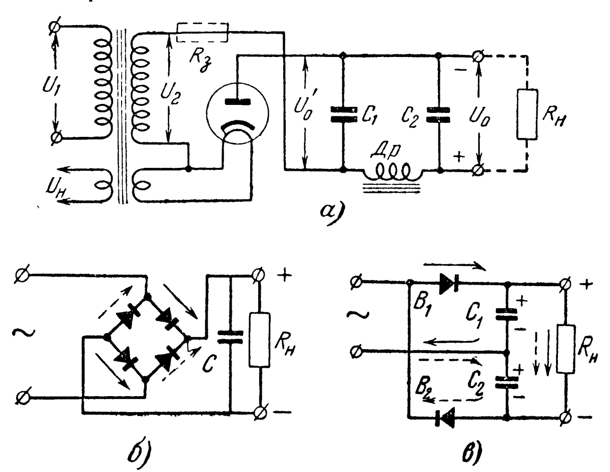


Рис. 3-60. Основные схемы двухполупериодных выпрямителей с емкостной нагрузкой.

а — с двуханодным кенотроном; *б* — мостовая схема; *в* — схема с удвоением напряжения.

Полупроводниковые стабилитроны включаются аналогично газоразрядным (ср. рис. 3-61 и 3-52) и выгодно отличаются от последних малыми размерами. Кроме того, с помощью кремниевых стабилитронов можно стабилизировать низкие напряжения (порядка 10 *в*), для которых не существует газоразрядных стабилитронов.

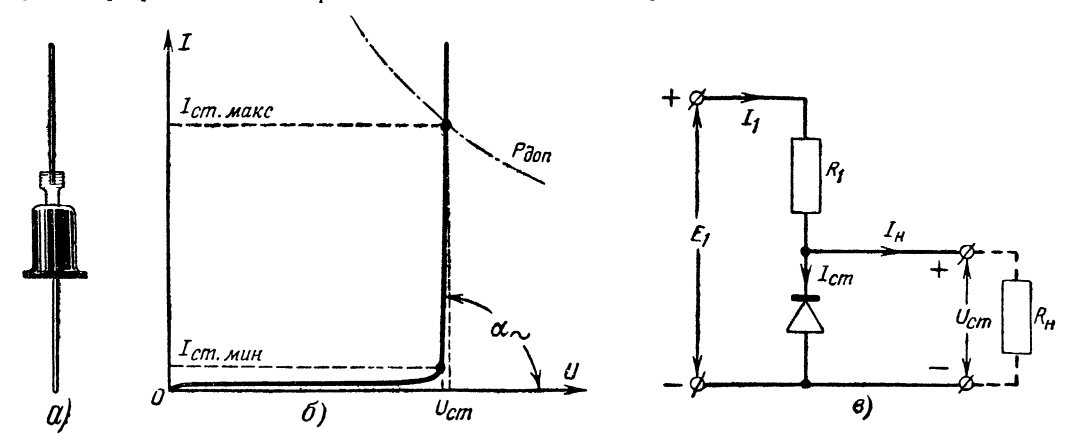


Рис. 3-61. Внешний вид (*а*), вольт-амперная характеристика (*б*) и схема включения (*в*) кремниевого стабилитрона.

Параметры полупроводниковых стабилитронов аналогичны параметрам газоразрядных: номинальное напряжение стабилизации $U_{ст}$, область рабочих токов $I_{ст.\,мин} \div I_{ст.\,макс}$, динамическое сопротивление $R_д$.

Однако, в отличие от газоразрядных, у полупроводниковых стабилитронов отсутствует «напряжение зажигания»: они вступают в действие без предварительного перенапряжения, что также является их достоинством.

Максимальный стабилизируемый ток $I_{ст.\,макс}$ ограничивается здесь предельно допустимой мощностью рассеяния $P_{доп}$.

Электронные лампы. Наиболее многообразны электрические свойства приборов, определивших развитие всей радиотехники, — электронных ламп, которые также являются нелинейными элементами электрических цепей.

Кроме упоминавшихся выше двухэлектродных ламп (диодов), наиболее широкое применение находят электронные лампы с различным числом сеток, помещенных между катодом и анодом.

Подавая на эти сетки те или иные по величине и знаку (относительно катода) напряжения, можно в той или иной степени управлять анодным током: при данном анодном напряжении положительные напряжения на сетках будут способствовать увеличению анодного тока, отрицательные же напряжения на них будут уменьшать его. Кроме того, при положительных напряжениях на сетке часть испускаемых катодом электронов будет ответвляться и на них, т. е. в цепях сеток появится *сеточный ток*, при отрицательных напряжениях на сетках заметных сеточных токов не будет.

Лампы с одной сеткой (управляющей) называют *триодами*. Лампы с двумя сетками называют *тетродами* или лампами с *экранирующей сеткой* (эта сетка служит экраном между анодом и управляющей сеткой, уменьшая между ними емкость). Лампы с тремя сетками называют пентодами или лампами с *защитной* сеткой (эта сетка защищает экранирующую сетку от вторичных электронов, выбиваемых с анода анодным током). Лампы с пятью сетками (из них две управляющие и две экранирующие) называют *гептодами*.

Различают лампы *прямого накала*, у которых в качестве катода применяется нить, накаливаемая электрическим током, и подогревные или лампы *косвенного накала*, в которых нить накала служит лишь для подогрева изолированного от нее специального катода.

Наряду с простыми лампами, выпускаются сдвоенные, содержащие в одном баллоне две одинаковых лампы (двойной диод, двойной триод, двуханодный кенотрон и т. п.), и комбинированные, содержащие несколько различных ламп в одном баллоне (диод-пентод, двойной диод-триод, триод-пентод и т. п.).

Некоторые из ламп с экранирующей сеткой (тетродов и пентодов) называют *лучевыми*. В лучевых лампах каждый виток экранирующей сетки располагается точно позади соответствующего витка управляющей сетки. В связи с этим экранирующая сетка для летящих от катода к аноду электронов оказывается как бы в тени управляющей сетки и на ней оседает мало электронов. Это содей-

ствует снижению тока экранирующей сетки и улучшает характеристики лампы.

Для каждой из сеток, как и для анода данной лампы, имеются определенные, наивыгоднейшие с точки зрения использования ламп напряжения, которые обычно указываются в паспорте лампы как номинальные и которых следует придерживаться при включении лампы в работу.

Анодно-сеточная характеристика и схема ее получения показаны на рис. 3-62, *а*. Несколько таких характеристик, снятых при разных анодных напряжениях, образуют семейство анодно-сеточных характеристик (рис. 3-62, *б*).

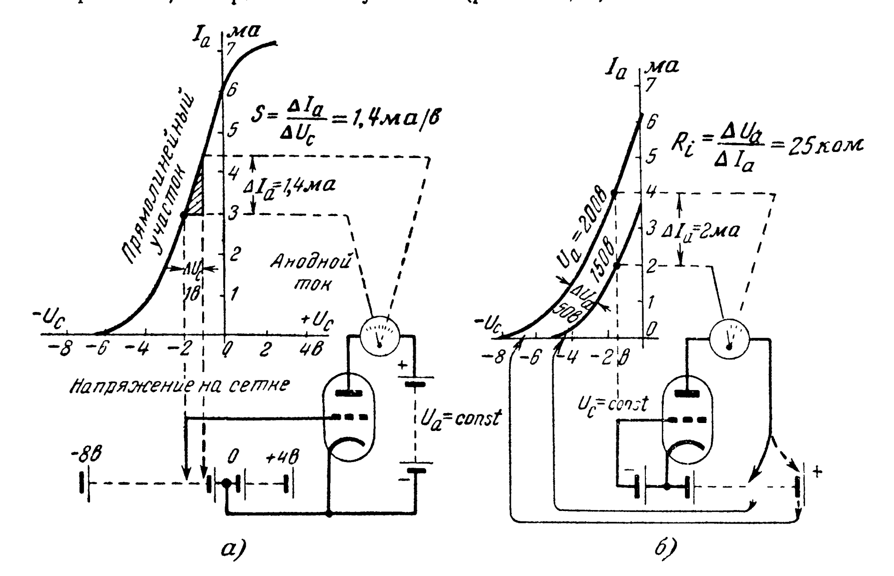


Рис. 3-62. Анодно-сеточные характеристики трехэлектродной лампы.

а — определение крутизны характеристики; *б*—определение внутреннего сопротивления.

Статические характеристики электронных ламп. Зависимости анодного тока лампы от напряжения на ее аноде и сетках представляют с помощью статических характеристик. Важнейшие из них — **а н о д н о - с е т о ч н ы е** характеристики, изображающие зависимость анодного тока от напряжения на управляющей сетке при постоянном напряжении на аноде и других сетках, и **а н о д н ы е** характеристики, показывающие зависимость анодного тока от напряжения на аноде при постоянном напряжении на управляющей и других сетках.

Анодная характеристика и схема ее получения представлены на рис. 3-63, *а*. Несколько таких характеристик, снятых при разных напряжениях на управляющей сетке, образуют семейство анодных характеристик (рис. 3-63, *б*)

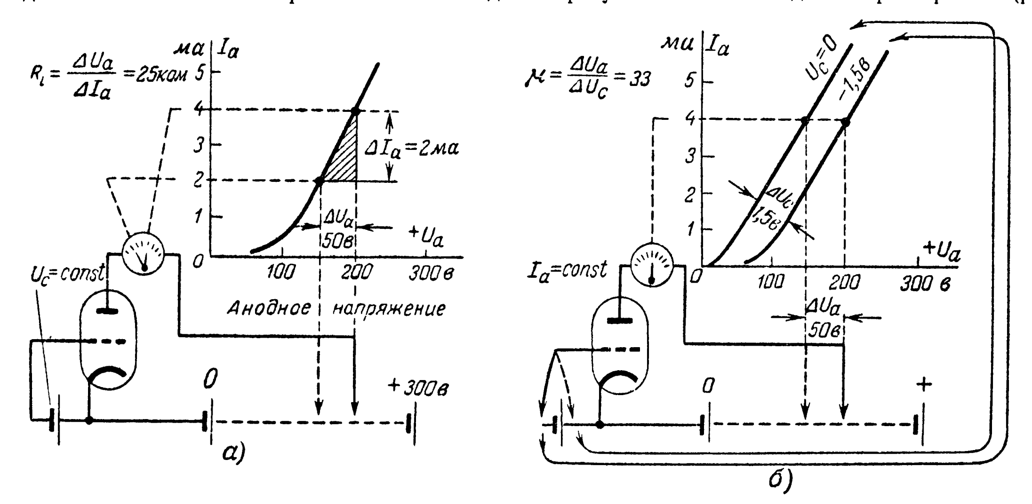


Рис. 3-63. Анодные характеристики трехэлектродной лампы.

а — определение внутреннего сопротивления; *б* — определение коэффициента усиления.

Анодно-сеточные характеристики у триодов и у пентодов (рис. 3-64, *а* и 3-65, *а*) имеют одинаковый вид, только у пентодов эти характеристики практически не зависят от напряжения на аноде из-за экранирующего действия второй сетки, а поэтому для них обычно приводят лишь одну анодно-сеточную характеристику. Однако напряжение экранирующей сетки сильно влияет на положение анодно-сеточной характеристики пентода: повыше-

ние напряжения экранирующей сетки вызывает перемещение анодно-сеточной характеристики влево, т. е. увеличивает анодный ток.

Анодные характеристики триодов и пентодов имеют резкое отличие (рис. 3-64, *б* и 3-65, *б*), связанное опять-таки с экранирующим действием второй сетки. Лишь начальные участки анодных характеристик пентода поднимаются круто вверх. По мере же дальнейшего увеличения анодного напряжения, когда оно превышает напряжение на экранирующей сетке, анодный ток перестает заметно зависеть от анодного напряжения и характеристики направляются почти горизонтально.

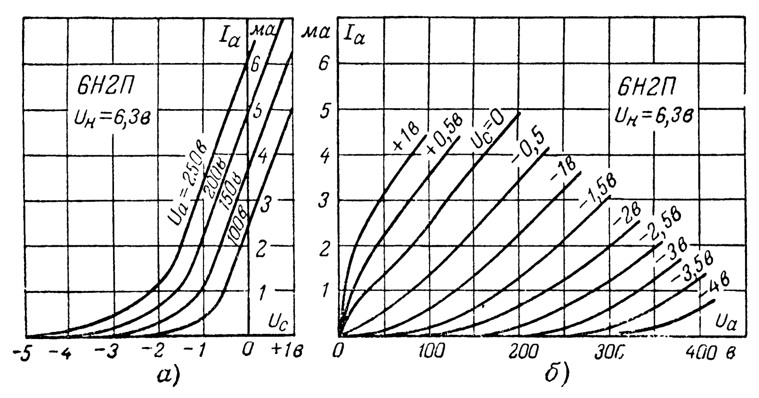


Рис. 3-64. Типичные семейства статических характеристик триода.

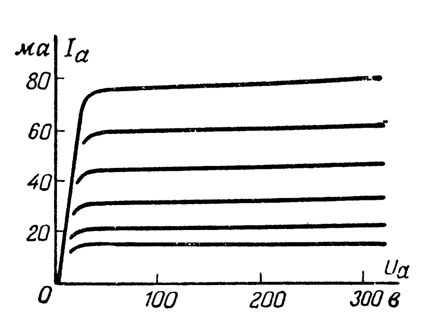


Рис. 3-66. Типичные анодные характеристики лучевого пентода.

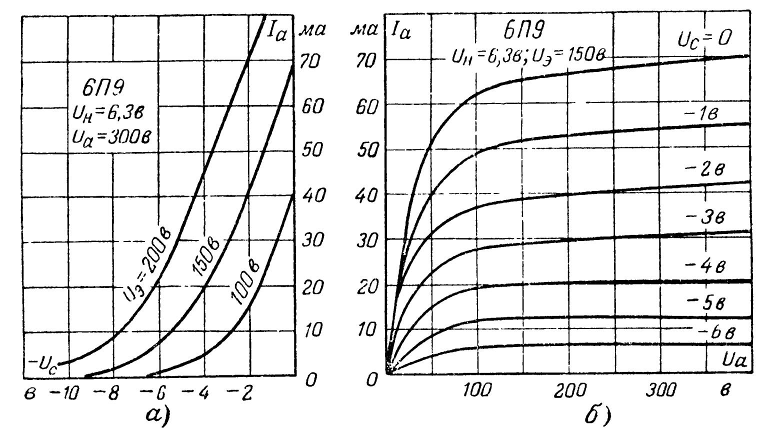


Рис. 3-65. Типичные семейства статических характеристик пентода.

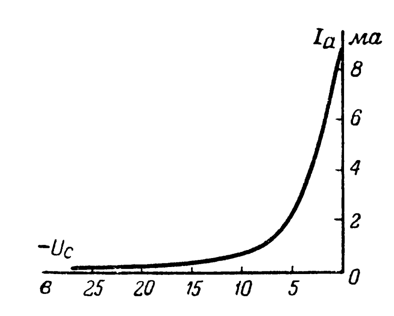


Рис. 3-67. Типичная анодно-сеточная характеристика лампы с переменной крутизной.

Начальный участок сильной зависимости анодного тока пентода от напряжения на аноде обусловлен тем, что при анодных напряжениях меньших, чем напряжение на экранирующей сетке, последняя перехватывает на себя значительную часть электронов, причем в цепи экранирующей сетки проходят большие токи. Такой режим, называемый перенапряженным, может вызвать сильный перегрев экранирующей сетки и повлечь за собой выход лампы из строя. Поэтому, как правило, в приемно-усилительной аппаратуре анодное напряжение пентодов выбирается выше или в крайнем случае таким же, как на экранирующей сетке.

Сократить протяженность начального нерабочего участка анодных характеристик (рис. 3-66) удается подбором специальной геометрии сеток в лучевых лампах (пентодах и тетродах).

У ламп, предназначенных для работы в каскадах, охватываемых системой АРУ (высокочастотных пентодов и гептодов), за счет переменного шага намотки управляющей сетки добиваются получения удлиненных анодно-сеточных характеристик переменной крутизны (рис. 3-67)

Электрические параметры электронных ламп. Электрические свойства электронных ламп принято также описывать с помощью ряда электрических параметров. К числу их прежде всего относятся: крутизна анодно-сеточной характеристики (или просто «крутизна»), внутреннее сопротивление и коэффициент усиления.

К р у т и з н а х а р а к т е р и с т и к и S показывает, на сколько миллиампер изменяется анодный ток лампы при изменении напряжения на управляющей сетке на 1 *в*.

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c}, \qquad (3\text{-}90)$$

где ΔI_a — изменение анодного тока, *ма*;

ΔU_c — изменение напряжения на управляющей сетке, *в*.

При этом напряжение на аноде поддерживается неизменным.

В н у т р е н н е е с о п р о т и в л е н и е R_i представляет собой отношение изменения анодного напряжения к вызываемому этим изменению анодного тока (при неизменном напряжении на сетке):

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}. \qquad (3\text{-}91)$$

Следует подчеркнуть, что как и для всякого нелинейного элемента, это сопротивление отнюдь не равно отношению полного напряжения на аноде к полному анодному току. Последняя величина, называемая сопротивлением лампы постоянному току $R_л = \frac{U_а}{I_а}$, используется очень редко.

Коэффициент усиления μ показывает во сколько раз влияние на анодный ток сеточного напряжения больше, чем влияние анодного напряжения. Его определяют как отношение изменения анодного напряжения к изменению сеточного напряжения, вызывающих одинаковые, но противоположные изменения анодного тока, в результате чего анодный ток остается неизменным:

$$\mu = \frac{\Delta U_а}{\Delta U_с}. \qquad (3\text{-}92)$$

Значения параметров S, R_i и μ для различных ламп приводятся в справочных таблицах (для определенного режима), но они могут быть также определены для различных режимов из семейств статических характеристик лампы. Примеры их определения даны на рис. 3-62 и 3-63. Кроме того, в отсутствии сеточных токов, т. е. при отрицательных напряжениях на управляющей сетке лампы, всегда выполняется следующее соотношение между рассмотренными тремя параметрами:

$$SR_i = \mu, \qquad (3\text{-}93)$$

где S — *ма/в*, а R_i — в *ком*.

Таким образом, зная лишь два параметра, можно определить третий из уравнения (3-93).

Пример. В справочной таблице для лампы типа 6С1П указано. $S = 2{,}25$ *ма/в* и $\mu = 26$. Каково внутреннее сопротивление ее?

Преобразуя уравнение (3-93), получим

$$R_i = \frac{\mu}{S} = \frac{26}{2{,}25} \approx 11{,}6 \text{ ком}.$$

При работе ламп в высокочастотных каскадах важное значение приобретают междуэлектродные емкости. Различают входную, выходную и проходную емкости.

Входная $C_{вх}$ и выходная $C_{вых}$ емкости — это емкости управляющей сетки и анода лампы соответственно по отношению ко всем электродам, на которых при работе лампы отсутствуют переменные напряжения сигнала, т. е. относительно катода и всех остальных сеток.

Проходной емкостью $C_{пр}$ называют емкость между управляющей сеткой и анодом лампы.

При применении лампы в усилителях УКВ и ДЦВ важнейшим параметром оказывается входное сопротивление. Несмотря на отсутствие статического сеточного тока, наличие входной емкости совместно с индуктивностью вывода катода, а также соизмеримое с периодом усиливаемых колебаний время пролета электронов на участке катод—сетка, приводят к появлению уменьшающегося с повышением рабочей частоты активного входного сопротивления $R_{вх}$.

Величина $R_{вх}$ обратно пропорциональна квадрату частоты:

$$R_{вх} = \frac{A}{f^2}, \qquad (3\text{-}94)$$

где A — постоянная.

В справочных таблицах обычно указывают величину $R_{вх1}$ на какой-либо одной частоте f_1. Если же надо узнать $R_{вх2}$ на другой частоте f_2, то на основании уравнения (3-94) можно воспользоваться пропорцией

$$\frac{R_{вх2}}{R_{вх1}} = \frac{f_1^2}{f_2^2}, \qquad (3\text{-}95)$$

откуда на частоте f_2

$$R_{вх2} = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 R_{вх1}. \qquad (3\text{-}95а)$$

Пример. В таблице дано для пентода типа 6Ж1П $R_{вх} = 19$ *ком* на частоте $f_1 = 60$ *Мгц*. Каково его входное сопротивление на частоте $f_2 = 150$ *Мгц*?

Согласно (3-95а) имеем

$$R_{вх} = \left(\frac{60}{150}\right)^2 19 \approx 3 \text{ ком}.$$

Предельно допустимые режимы электронных ламп. Электронная лампа характеризуется также рядом величин, определяющих предельно допустимые режимы, превышение которых приводит к преждевременному выходу лампы из строя.

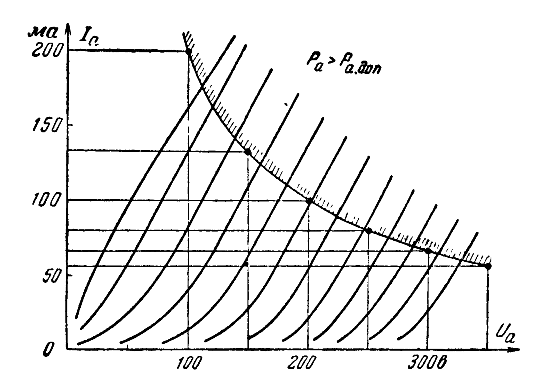


Рис. 3-68. Построение графика максимальной мощности рассеяния.

Прежде всего следует помнить, что как повышенное против нормы, так и пониженное напряжение накала вызывает ускоренное разрушение катода.

Для всех типов электронных ламп ограничивается допустимая мощность, рассеиваемая анодом. Она равна произведению анодного тока на анодное напряжение:

$$P_а = I_а U_а \qquad (3\text{-}96)$$

Этой мощностью определяется нагрев анода под влиянием бомбардировки его электронами, составляющими анодный ток лампы. В соответствии с конструкцией для каждой лампы существует максимальная мощность рассеяния на аноде, превышение которой грозит нарушением работоспособности лампы.

График допустимой мощности рассеяния на аноде можно построить на анодных характеристиках. Если, предположим, у какой-либо лампы $P_{а.\,доп} = 20$ *вт*, то, очевидно, на основании формулы (3-96) задача сводится к построению гиперболы

$$I_а = \frac{20}{U_а}. \qquad (3\text{-}96а)$$

Вычислив по формуле (3-96а) $I_а$ при нескольких значениях $U_а$ (например, при $U_а = 100$ *в*, $U_а = 150$ *в*, $U_а = 200$ *в* и т. д. через 50 *в*), наносят эти точки (0,2 *а*, 0,133 *а*, 0,1 *а* и т. д.) на координатную сетку анодных характеристик лампы и, соединив их плавной линией, получают график допустимой мощности $P_{а.\,доп}$ (рис. 3-68). Область рабочих режимов, расположенная ниже и левее графика максимальной мощности, соответствует допустимым мощностям рассеяния на аноде, а область вправо и вверх от графика — мощностям рассеяния, превышающим предельно допустимую мощность ($P_а > P_{а.\,доп}$).

Далее ограничиваются максимальные напряжения на аноде и сетках (относительно катода). Превышение этих напряжений может привести к электрическому пробою изоляции в лампе или к разрушению катода.

При применении подогревных ламп в схемах, где катод оказывается под высоким относительно общего провода напряжением (например, в схемах с бестрансформаторным питанием) надо считаться с максимальным допустимым напряжением между катодом и подогревателем (нитью накала).

Наконец, для многих ламп указывается максимальное допустимое сопротивление, которое разрешается включать между управляющей сеткой и катодом. Дело в том, что даже при отрицательных напряжениях на управляющей сетке в ее цепи проходит небольшой ток, обусловленный положительными ионами остаточного газа. Этот ток, проходя по сопротивлению, включенному в сеточную цепь, может создавать на нем падение напряжения, прямо пропорциональное сопротивлению сеточной цепи. При больших сопротивлениях это падение напряжения может исказить режим лампы и сделать ее работу нестабильной.

Рабочая точка электронной лампы. Очень важным понятием в практике применения электронных ламп является р а б о ч а я т о ч к а.

Строго говоря, рабочей точкой электронной лампы называется та точка на ее статических характеристиках, которая связывает рабочие величины сеточного и анодного напряжений с анодным током. Но так как на практике анодное напряжение в большинстве случаев бывает задано, то, говоря о выборе рабочей точки, обычно имеют в виду выбор напряжения с е т о ч н о г о с м е щ е н и я, т. е. постоянного напряжения U_{c0} на управляющей сетке лампы.

От выбора рабочей точки зависят условия работы лампы, и поэтому правильный выбор рабочей точки является очень важным вопросом.

Назначение каскада является решающим условием выбора рабочей точки лампы. Если лампа применяется в качестве усилителя и необходимо иметь минимальные искажения, то рабочую точку надо обязательно располагать в пределах прямолинейного участка анодно-сеточной характеристики. С точки зрения неискаженного усиления наибольших амплитуд следовало бы выбирать рабочую точку посредине прямолинейного участка, но это не всегда дает наилучшие результаты, так как обычно прямолинейный участок анодно-сеточной характеристики своей верхней частью заходит в область положительных напряжений на сетке, при которых возникает сеточный ток, что не всегда допустимо.

В случае применения лампы в качестве детектора, ограничителя, амплитудного селектора, генератора, а также в двухтактных усилителях, высокочастотных усилителях мощности и умножителях частоты рабочая точка почти всегда выбирается на изгибах сеточной характеристики, с тем чтобы получить в анодной цепи колебания новой формы, не соответствующей форме подведенного к сетке напряжения.

Появление на управляющей сетке положительного потенциала влечет за собой появление большого сеточного тока, что сопровождается резким уменьшением сопротивления участка сетка—катод. Это в свою очередь приводит к заметной нагрузке источника, подающего сигнал в сеточную цепь лампы. Поскольку в большинстве случаев такие источники (антенна, микрофон, звукосниматель, лампа предшествующего каскада, колебательный контур), обладают большим внутренним сопротивлением, то уменьшение их нагрузочного сопротивления сопровождается увеличением на них внутреннего падения напряжения и, следовательно, снижением поступающего на сетку напряжения.

Если рабочая точка выбрана так, что колебания управляющего напряжения целиком лежат в области положительных напряжений на сетке, то может наблюдаться резкое уменьшение усиления. Если же колебания управляющего напряжения лишь частично заходят в область положительных напряжений на сетке, то ослабляется усиление лишь этих частей каждого колебания, в результате чего в колебаниях анодного тока наблюдаются искажения формы сигнала, подведенного к сетке. Поэтому в усилительных каскадах, где искажения колебаний недопустимы, режим работы лампы с сеточными токами, как правило, не применяется. Исключение составляют двухтактные усилители классов В и AB_2, а также специальные схемы, где предшествующий каскад делается достаточно мощным, чтобы он мог работать устойчиво при уменьшении нагрузочного сопротивления. Для большинства же каскадов рабочую точку надо выбирать так, чтобы максимальные положительные импульсы управляющего напряжения вовсе не заходили в область положительных напряжений на сетке. Для этого при синусоидальных колебаниях управляющего напряжения величина отрицательного сеточного смещения должна быть, по крайней мере, равна амплитуде управляющего сеточного напряжения (рис. 3-69).

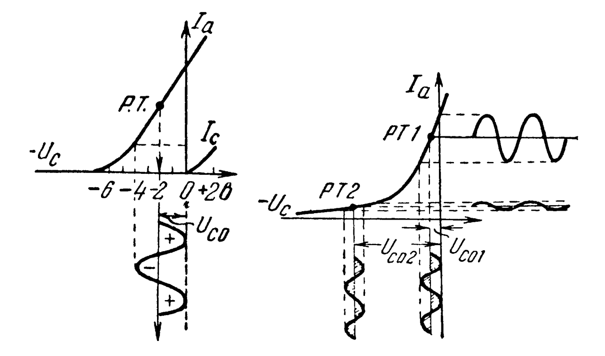


Рис. 3-69. Выбор рабочей точки при работе без сеточных токов.

Рис. 3-70. Рабочие точки лампы с переменной крутизной.

Крутизна характеристики любой лампы даже в пределах так называемого прямолинейного участка непостоянна. В области отрицательных напряжений на сетке она увеличивается по мере уменьшения сеточного смещения. Но чем больше крутизна характеристики, тем больше усиление каскада, в котором работает данная лампа. Поэтому для получения большего усиления имеет смысл по возможности уменьшать напряжение сеточного смещения, когда стремятся получить большое усиление при минимальном числе ламп.

Однако так поступать можно только при небольших переменных сеточных напряжениях, когда рабочую точку можно переместить со средины вверх прямолинейного участка без риска завести положительные амплитуды усиливаемого напряжения в область сеточных токов. В оконечных же каскадах, где прямолинейный участок характеристики, как правило, используется полностью, чаще всего приходится рабочую точку помещать точно посредине его.

То обстоятельство, что крутизна характеристики непостоянна при различных положениях рабочей точки, используется для регулирования усиления и в ряде автоматических регулировок. Но этот способ опять-таки применим лишь при небольших переменных напряжениях, так как иначе изменение положения рабочей точки (изменение напряжения смещения) может привести к сильным искажениям усиливаемых колебаний.

В связи с этим такого рода регулирование устраивается большей частью в высокочастотных каскадах приемников, где амплитуда сеточных напряжений мала. Обычные лампы имеют слишком резкий нижний изгиб характеристики и при работе близ него даже при сравнительно малых переменных напряжениях вносят большие искажения. Поэтому здесь желательны характеристики с удлиненной нижней частью и с плавным изменением крутизны, упоминавшиеся выше.

Работа такой лампы при разных положениях рабочей точки поясняется на рис. 3-70.

Экономичность питания анодной цепи в большой мере зависит от выбора рабочей точки. Если усиливаемое переменное напряжение невелико и рабочую точку можно сдвинуть со средины прямолинейного участка влево, не опасаясь, что отрицательные амплитуды попадут на нижний изгиб характеристик, то в целях повышения экономичности питания, например в батарейной аппаратуре, это всегда полезно сделать. При очень малых переменных напряжениях в каскадах усиления можно вывести рабочую точку даже на самый изгиб, если он не слишком резкий, но при этом наряду с уменьшением анодного тока уменьшается крутизна и усиление каскада может оказаться незначительным.

При выборе рабочей точки надо позаботиться и о том, чтобы соответствующими ей значениями $U_а$ и $I_а$ не была превышена максимально допустимая мощность рассеяния на аноде.

Транзисторы. Сходное с электронными лампами назначение имеют новые полупроводниковые приборы, называемые транзисторами. Как и в электронной лампе, у транзистора различают аналогичный катоду электрод, испускающий подвижные электрически заряженные частицы, — эмиттер, аналогичный аноду электрод, улавливающий эти частицы, — коллектор и аналогичный управляющей сетке электрод, прикладывая к которому то или иное напряжение, можно управлять коллекторным током, — базу. Однако роль вакуума здесь выполняет объем монокристаллического полупроводника, а подвижными частицами — носителями электричества здесь могут быть не только электроны, но и дырки (см. стр. 57). Кроме того, «катод» транзистора (эмиттер) не требует подогрева.

По существу, транзистор представляет собой два полупроводниковых диода (стр. 59), выполненных на общей пластинке монокристаллического полупроводника (германия или кремния). Расстояние между обоими диодами, называемое шириной базы, весьма мало (единицы — десятки микрон), в связи с чем режим работы одного диода оказывает сильное влияние на ток, проходящий через другой диод.

Аналогично полупроводниковым диодам различают точечные и плоскостные транзисторы, причем в настоящее время точечные, как менее совершенные, почти полностью вытеснены плоскостными.

Плоскостные транзисторы, у которых общая для обоих диодов область базы обладает проводимостью *n*-типа, называются транзисторами *p-n-p* типа. Если же область базы обладает проводимостью *p*-типа, то это будет транзистор *n-p-n* типа.

При подаче на транзистор питания один из *p-n* переходов, называемый эмиттерным переходом, включают в прямом (пропускном) направлении, а другой — коллекторный переход — в обратном (запорном). Из рис. 3-71 видно, что полярности питающих напряжений у транзисторов *p-n-p* и *n-p-n* типа противоположные.

За счет особого соотношения между концентрациями примесей в области эмиттера и базы добиваются того, что прямой ток, проходящий через эмиттерный переход, состоит главным образом из неосновных для базовой области носителей электричества (из дырок в транзисторах *p-n-p* типа и электронов в транзисторах *n-p-n* типа). Основная масса впрыскиваемых эмиттером носителей из-за малой толщины базы не успевает рекомбинировать с основными носителями и создать заметный ток через вывод базы, а довольно быстро за счет диффузии достигает коллекторного перехода, электрическое поле которого захватывает их и перебрасывает в область коллектора. При этом почти весь ток эмиттера направляется в коллекторную цепь.

Коэффициент, показывающий, какая доля эмиттерного тока достигает коллектора, является одним из важнейших параметров транзистора. Он называется коэффициентом усиления по току в схеме с общей базой и обозначается греческой буквой α. Для современных плоскостных транзисторов $\alpha = 0{,}9 \div 0{,}997$.

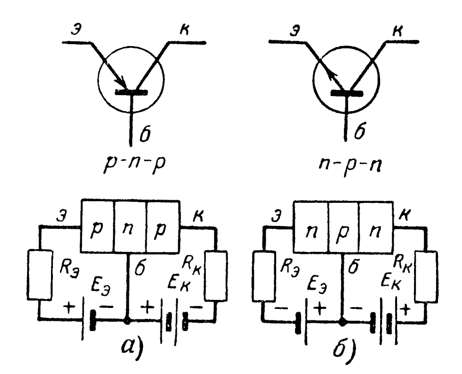


Рис. 3-71. Условные обозначения и схемы подачи питания на транзисторы типов *p-n-p* (*а*) и *n-p-n* (*б*).

э — эмиттер, *б* — база, *к* — коллектор.

В коллекторной цепи на ток, переброшенный из цепи эмиттера, накладывается обратный ток диода коллектор—база. Этот ток, называемый нулевым током коллектора и обозначаемый символом $I_{к0}$, является другим важным параметром транзистора. Обычно величина $I_{к0}$ составляет не более нескольких микроампер у маломощных транзисторов и доходит до десятых долей миллиампера у мощных.

Указанные два параметра фигурируют в основном уравнении, определяющем прохождение токов в цепях транзистора:

$$I_к = \alpha I_э + I_{к0}, \tag{3-97}$$

где $I_э$ — постоянный ток эмиттера;

$I_к$ — постоянный ток коллектора.

На основании закона Кирхгофа и уравнения (3-97) для тока базы справедливо выражение

$$I_б = (1 - \alpha) I_э - I_{к0}. \tag{3-98}$$

Из уравнений (3-97) и (3-98) можно также получить выражение тока коллектора через ток базы, являющийся для большинства схем входным током транзистора:

$$I_к = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_б + \frac{1}{1 - \alpha} I_{к0}. \tag{3-99}$$

Величину $\frac{\alpha}{1-\alpha}$ обычно обозначают другой греческой буквой — β и называют коэффициентом усиления по току в схеме с общим эмиттером. Пользуясь этим обозначением, последнюю формулу представляют в виде

$$I_к = \beta I_б + (\beta + 1) I_{к0}. \tag{3-99а}$$

Поскольку коэффициенты α и β однозначно связаны между собой, всегда возможен переход от одной величины к другой, для чего можно пользоваться приведенной на рис. 3-72 номограммой, соответствующей уравнению

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}. \qquad (3\text{-}100)$$

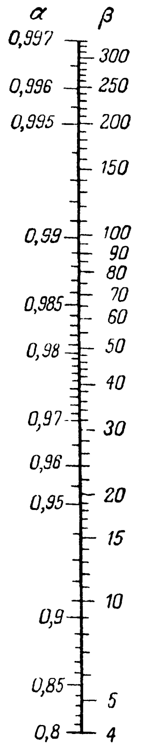


Рис. 3-72. Номограмма для пересчета коэффициентов усиления по току в схеме с общей базой и с общим эмиттером.

Типичные значения β лежат в пределах 10—200.

В связи с тем, что входная цепь транзистора представляет собой *p-n* переход, включенный в пропускном направлении, а в выходной цепи имеется *p-n* переход, включенный в запорном направлении, напряжение питания коллекторной цепи можно выбирать значительно выше напряжения, падающего на входных зажимах транзистора. Это значит, что в коллекторную цепь можно вводить нагрузочные сопротивления, превышающие входное сопротивление транзистора.

Но при этом даже в схеме с общей базой (рис. 3-73, *а*), в которой α несколько меньше единицы, входной ток, переданный в цепь с большим сопротивлением, создаст в нем бо́льшую мощность, чем мощность, затраченная в низкоомной входной цепи транзистора, ибо $P = I^2R$. На этом свойстве преобразования сопротивления и основано усиление мощности с помощью транзисторов.

Ещё большее усиление мощности обеспечивается в схеме с общим эмиттером (рис. 3-73, *б*), в которой, кроме того, имеет место усиление тока (β>1).

Третья схема включения транзистора — с общим коллектором (рис. 3-73, *в*) предусматривает подачу входного сигнала на коллекторный переход, включенный в запорном направлении. При этом входное сопротивление оказывается максимальным, однако усиление невелико. Коэффициент усиления по току в этой схеме достигает значения (β + 1), а усиление по напряжению отсутствует.

Сравнительные характеристики трех схем включения транзисторов приведены в табл. 3-3. В строке «Усиление по мощности при согласовании» указано максимально возможное усиление, достигаемое за счет определенного выбора сопротивления нагрузки (см. ниже).

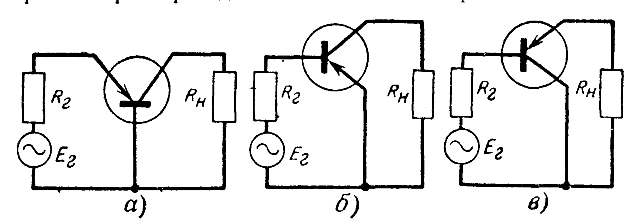


Рис. 3-73. Основные схемы включения транзистора, для упрощения схем источники питания не показаны.

а — с общей базой; *б* — с общим эмиттером; *в* — с общим коллектором. $E_г$ — генератор сигнала (источник усиливаемого сигнала), $R_г$ — внутреннее сопротивление генератора сигнала; $R_н$ — сопротивление нагрузки.

Таблица 3-3

Сравнительные характеристики трех схем включения транзистора

Характеристика схемы	Схема включения триода: с общей базой	с общим эмиттером	с общим коллектором
Входное сопротивление	Малое (30—100 *ом*)	Среднее (400—2000 *ом*)	Большое (5—200 *ком*)
Выходное сопротивление	Большое (0,2—1 *Мом*)	Среднее (25—100 *ком*)	Малое (30—10 000 *ом*)
Усиление по току	Отсутствует (около 1)	Одинаковое (10—100)	
Усиление по напряжению	Одинаковое (1000—5000)		Отсутствует (около 1)
Усиление по мощности при согласовании	Среднее (30 *дб*)	Большое (40 *дб*)	Малое (15 *дб*)
Усиление по мощности в многокаскадных усилителях на сопротивлениях	Отсутствует	Большое (25 *дб* на каскад)	Малое (до 30 *дб* на весь усилитель)

Примечание. Средние числовые значения, указанные в таблице, соответствуют усилителям, работающим при малом уровне выходной мощности (не более единиц милливатт) в типичной рабочей точке (1 *ма* при 5—10 *в*).

Статические характеристики транзистора. Напряжения и токи, проходящие в цепях электродов транзистора, не могут быть связаны законом Ома, потому, что в состав транзистора входят *p-n* переходы, обладающие нелинейными электрическими свойствами. Поэтому зависимость постоянных токов от приложенных к транзистору напряжений принято представлять так же, как у электронных ламп, с помощью семейств статических характеристик.

Типичные семейства входных и выходных характеристик транзисторов в схемах с общей базой и с общим эмиттером представлены на рис. 3-74 и 3-75. Различные входные характеристики соответствуют разным постоянным напряжениям на коллекторе. Различные выходные характеристики соответствуют разным постоянным напряжениям или токам в цепи входного электрода (эмиттера или базы).

Входные характеристики транзисторов (рис. 3-74, *б* и 3-75, *б*) слабо зависят от напряжения на коллекторе, если последнее превышает 0,2—0,5 *в*.

Выходные характеристики транзисторов напоминают анодные характеристики пентодов (ср. рис. 3-74, *в* и 3-75, *в* с рис. 3-65, *б* и 3-66): имеется круто восходящий начальный участок сильной зависимости коллекторного тока от напряжения на коллекторе, а затем характеристики направляются почти горизонтально. Характерным отличием выходных характеристик транзистора является то, что начальный участок их заканчивается при очень малых напряжениях на коллекторе (до 0,2—0,5 *в*). Поэтому транзисторы могут работать при весьма низких напряжениях (ниже 1 *в*), не мыслимых для питания анодных цепей электронных ламп.

Иногда пользуются также характеристиками усиления или прямой передачи транзистора (рис. 3-76), которые аналогичны анодно-сеточным характеристикам электронных ламп и показывают зависимость тока в выходной цепи транзистора от напряжения на входном электроде.

Эти характеристики также слабо зависят от напряжения на коллекторе.

Системы малосигнальных параметров транзистора. Аналогичные статическим параметрам электронной лампы малосигнальные параметры транзистора могут быть рассчитаны с помощью семейств статических характеристик. На рис. 3-76 приведен пример определения крутизны S, характеризующей приращение коллекторного тока, вызываемое изменением напряжения базы при постоянном напряжении на коллекторе.

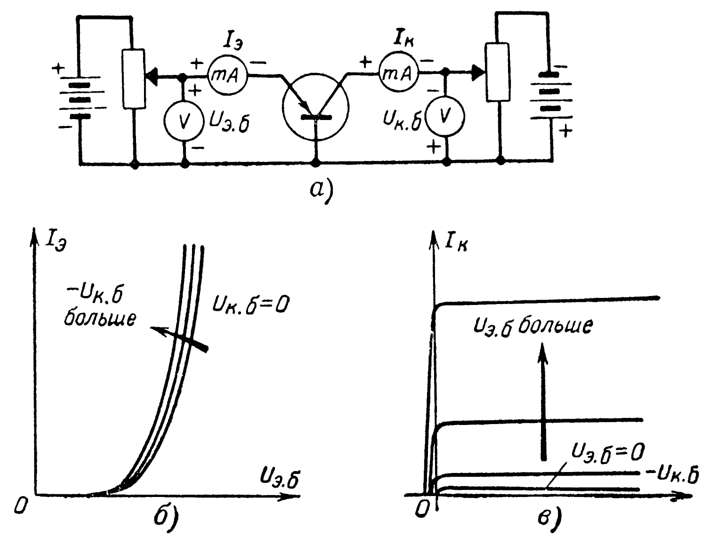


Рис. 3-74. Схема снятия статических характеристик транзистора типа *p-n-p* (*а*) и типичные семейства входных (*б*) и выходных (*в*) характеристик в схеме с общей базой.

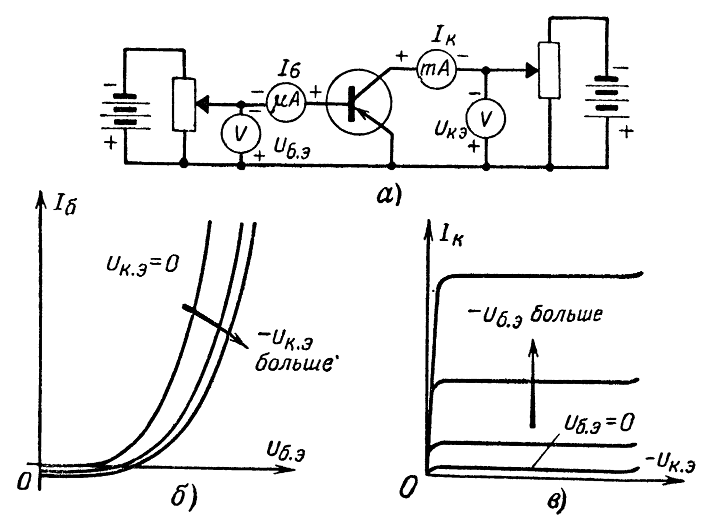


Рис. 3-75. Схема снятия статических характеристик транзистора типа *p-n-p* (*а*) и типичные семейства входных (*б*) и выходных (*в*) характеристик в схеме с общим эмиттером.

Однако, в отличие от электронных ламп, у транзистора всегда проходит ток в цепи входного электрода и, из-за обратной реакции коллекторного перехода на эмиттерный, входной ток зависит от режима выходной цепи, т. е. имеется внутренняя обратная связь. Кроме того, транзистор чаще, чем электронная лампа, включается в схему разными способами (с общей базой, общим эмиттером или общим коллектором), причем каждому способу соответствуют различные входные и выходные характеристики.

Все это приводит к резкому усложнению систем электрических параметров транзисторов в сравнении с системой параметров электронной лампы.

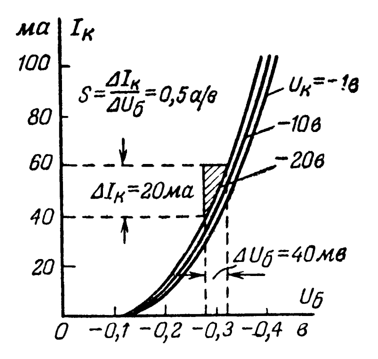


Рис. 3-76. Семейство характеристик усиления транзистора типа *p-n-p* в схеме с общим эмиттером и определение крутизны S.

Обобщенный метод описания электрических свойств транзисторов основан на замене транзистора вместе с источниками его питания эквивалентным четырехполюсником (рис. 3-77). При этом оказывается, что если на постоянные питающие транзистор напряжения и токи

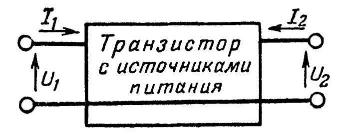


Рис. 3-77. Четырехполюсник, эквивалентный транзистору.

обеспечивающие определенную рабочую точку, наложить малый переменный сигнал (его напряжение и ток во входной цепи обозначены буквами U_1 и I_1, а в выходной U_2 и I_2), то в отношении этого сигнала транзистор будет себя вести как линейный элемент электрической цепи, причем можно пользоваться законом Ома.

О величине сигнала, который можно считать малым, дают представление статические характеристики транзистора: если сигнал укладывается на таком участке статической характеристики, что кривизна ее в пределах этого участка не заметна, то сигнал малый (рис. 3-78, *а*); если же сигнал занимает участок характеристики, в пределах которого заметно отличие ее от отрезка прямой (рис. 3-78, *б*), то сигнал считается большим и применение малосигнальных параметров становится неуместным, ибо транзистор проявляет при этом нелинейные свойства.

При обычных рабочих точках сигнал во входной цепи перестает быть малым, если напряжение его превышает 10—20 *мв*, а в выходной цепи малый сигнал может дости-

гать значения питающего коллекторную цепь напряжения, ибо выходные характеристики на большом протяжении близки к прямым линиям (см. рис. 3-74 и 3-75).

Напряжения и токи малых сигналов, действующие во внешних цепях эквивалентного четырехполюсника, можно связать между собой различными системами из двух уравнений.

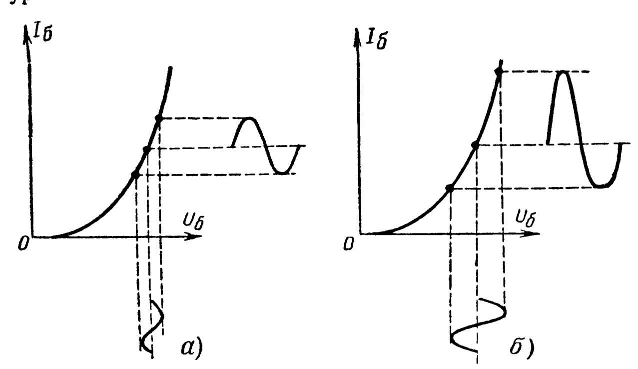


Рис. 3-78. К объяснению понятия о малом (*а*) и большом (*б*) сигналах.

Наиболее употребительна система так называемых *h*-параметров, вытекающая из уравнений:

$$U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2; \quad (3\text{-}101)$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2. \quad (3\text{-}102)$$

Четыре коэффициента h_{11}, h_{12}, h_{21} и h_{22}, фигурирующие в этих уравнениях, отражают электрические свойства транзистора в отношении малых сигналов низкой частоты в выбранной рабочей точке.

При определении смысла этих параметров важными являются понятия режима холостого хода и короткого замыкания.

Режимом холостого хода транзистора по входной или выходной цепи называется такой режим его работы, при котором в данной цепи поддерживается постоянный ток, не зависящий от изменения токов или напряжений в других цепях. На практике это достигается введением в данную цепь большого сопротивления или большой индуктивности (холостой ход по переменному току).

В режиме холостого хода какой-либо цепи ток малого сигнала в этой цепи (I_1 или I_2) отсутствует.

В режиме короткого замыкания, напротив, поддерживается постоянное напряжение между соответствующими зажимами транзистора, что обычно достигается присоединением к ним источника питания с малым внутренним сопротивлением или блокированием этих зажимов конденсатором достаточной емкости (короткое замыкание по переменному току). При этом напряжение малого сигнала на данных зажимах (U_1 или U_2) отсутствует.

Параметр h_{11} характеризует входное сопротивление транзистора в режиме короткого замыкания выходной цепи, ибо из (3-101) следует, что

$$h_{11} = \frac{U_1}{I_1} \text{ при } U_2 = 0. \quad (3\text{-}103)$$

Параметр h_{12} называют коэффициентом обратной связи по напряжению в режиме холостого хода во входной цепи. Из уравнения (3-101) следует, что

$$h_{12} = \frac{U_1}{U_2} \text{ при } I_1 = 0, \quad (3\text{-}104)$$

т. е., что h_{12} показывает, какая часть напряжения сигнала U_2 действующего на выходных зажимах транзистора, передается обратно во входную цепь.

Параметр h_{21} представляет собой коэффициент усиления по току в режиме короткого замыкания выходной цепи. Действительно, из уравнения (3-102) вытекает,

$$h_{21} = \frac{I_2}{I_1} \text{ при } U_2 = 0 \quad (3\text{-}105)$$

Параметр h_{22} характеризует выходную проводимость транзистора в режиме холостого хода во входной цепи ибо на основании (3-102) можно записать

$$h_{22} = \frac{I_2}{U_2} \text{ при } I_1 = 0 \quad (3\text{-}106)$$

Следует помнить, что в реальных схемах при наличии конечных сопротивлений (отличных от нуля или бесконечности) в цепях транзистора входное сопротивление может не равняться значению h_{11}, коэффициенты обратной связи и усиления по току могут стать меньше значений h_{12} и h_{21} соответственно. Также может отличаться от значения h_{22} выходная проводимость транзистора.

Расчет соответствующих характеристик транзистора в реальных схемах производится по специальным формулам; некоторые из них приводятся ниже (стр. 76). Такие расчеты требуют знания схемных сопротивлений, включенных в цепи транзистора, и значений только что приведенных параметров транзистора.

Значения четырех *h*-параметров зависят от того, какой из электродов транзистора используется в качестве общего, т. е. соединен с общим («заземляющим») проводом. В связи с этим различают *h*-параметры для схемы с общей базой, с общим эмиттером и с общим коллектором.

Если известны все четыре параметра для какой-либо одной схемы включения, то их значения для других схем включения можно рассчитать при помощи следующих приближенных формул:

$$\left.\begin{aligned} h_{11}^{б} &= \frac{h_{11}^{э}}{1 + h_{21}^{э}} \\ h_{12}^{б} &= \frac{h_{11}^{э}h_{22}^{э}}{1 + h_{21}^{э}} - h_{12}^{э} \\ h_{21}^{б} &= -\frac{h_{21}^{э}}{1 + h_{21}^{э}} \\ h_{22}^{б} &= \frac{h_{22}^{э}}{1 + h_{21}^{э}} \end{aligned}\right\} \quad (3\text{-}107)$$

$$\left.\begin{aligned} h_{11}^{э} &= \frac{h_{11}^{б}}{1 + h_{21}^{б}} \\ h_{12}^{э} &= \frac{h_{11}^{б}h_{22}^{б}}{1 + h_{21}^{б}} - h_{12}^{б} \\ h_{21}^{э} &= -\frac{h_{21}^{б}}{1 + h_{21}^{б}} \\ h_{22}^{э} &= \frac{h_{22}^{б}}{1 + h_{21}^{б}} \end{aligned}\right\} \quad (3\text{-}108)$$

$$
\left.\begin{aligned}
h_{11}^{к} &= h_{11}^{э} = \frac{h_{11}^{б}}{1 + h_{11}^{б}} \\
h_{12}^{к} &= 1 \\
h_{21}^{к} &= -\left(1 + h_{21}^{э}\right) = -\frac{1}{1 + h_{21}^{б}} \\
h_{22}^{к} &= h_{22}^{э} = \frac{h_{22}^{б}}{1 + h_{21}^{б}}.
\end{aligned}\right\} \qquad (3\text{-}109)
$$

В этих формулах верхние индексы *б*, *э* и *к* возле символов *h*-параметров обозначают, к какой схеме включения транзистора относится данный параметр: с общей базой, общим эмиттером или общим коллектором.

Наряду с индексами *б*, *э* и *к*, часто пользуются штрихами, причем параметры схемы с общей базой записывают без штрихов (h_{11}, h_{12} и т. д.), схемы с общим эмиттером — с одним штрихом (h'_{11}, h'_{12} и т. д.), а схемы с общим коллектором — с двумя штрихами (h''_{11}, h''_{12} и т. д.).

Следует помнить, что значение параметра h_{21} для схемы с общим эмиттером совпадает со значением упоминавшегося выше параметра β, а для схемы с общей базой — параметра α, взятого с обратным знаком.

Эквивалентные схемы транзисторов. Все приведенные выше формулы с малосигнальными параметрами справедливы при низкочастотных сигналах. По мере повышения частоты сигнала, начиная с частот 1 *кгц* — 1 *Мгц* (для различных типов транзисторов) малосигнальные параметры начинают зависеть от частоты. Поскольку при этом в значение каждого параметра начинают входить индуктивные и емкостные составляющие, на высоких частотах свойства транзисторов легче представить другим методом, с помощью эквивалентных схем, которые образованы не зависящими от частоты активными и реактивными сопротивлениями. Простейшие эквивалентные схемы без реактивных сопротивлений применяются и для описания низкочастотных свойств транзисторов. Эквивалентные схемы верны также лишь при малых сигналах, ибо входящие в них элементы считаются линейными.

Наиболее распространенная низкочастотная Т-образная эквивалентная схема транзистора приведена на рис. 3-79. Элементы этой эквивалентной схемы называют сопротивлением эмиттера $r_э$, сопротивлением базы $r_б$, сопротивлением коллектора $r_к$ и сопротивлением генератора э. д. с. $r_г$. Все они зависят от выбранной рабочей точки и однозначно связаны с малосигнальными *h*-параметрами транзистора в этой же точке:

$$
\left.\begin{aligned}
r_э &= h_{11} - \frac{h_{12}}{h_{22}}\,(1 + h_{21}) \\
r_б &= \frac{h_{12}}{h_{22}} \\
r_к &= \frac{1}{h_{22}} \\
r_г &= -\frac{h_{21}}{h_{22}}
\end{aligned}\right\} \qquad (3\text{-}110)
$$

(*h*-параметры относятся к схеме с общей базой).

Усилительные свойства транзистора в этой схеме передает генератор $r_г I_э$, э. д. с. которого таким образом прямо пропорциональна току усиливаемого сигнала $I_э$ в цепи эмиттера.

Распространен вариант Т-образной схемы, в которой вместо генератора э. д. с. фигурирует генератор тока $aI_э$ (рис. 3-80). Значения $r_э$, $r_б$ и $r_к$ здесь те же, что и в схеме на рис. 3-79, а коэффициент *a*, определяющий ток генератора равен

$$a = \frac{r_г}{r_к}. \qquad (3\text{-}111)$$

Под генератором тока понимается источник, обладающий настолько большим внутренним сопротивлением, что отдаваемый им ток остается неизменным при любом сопротивлении нагрузки. Существующие в транзисторе разброс скоростей диффузии неосновных носителей через базу

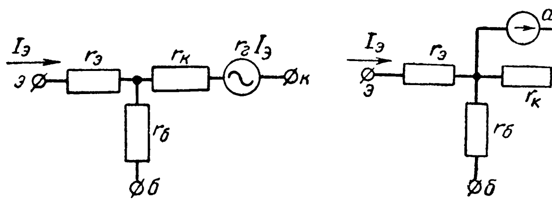


Рис. 3-79. Т-образная эквивалентная схема транзистора.

Рис. 3-80. Вариант Т-образной схемы с генератором тока.

и частичная рекомбинация их приводят к снижению усиления по мере повышения частоты усиливаемого сигнала.

Граничной или предельной частотой усиления по току в схеме с общей базой f_α называют ту частоту, при которой значение коэффициента усиления по току в схеме с общей базой α снижается до 0,7. Эта частота не всегда является предельной рабочей частотой транзисторов, но знание ее наряду с некоторыми другими параметрами транзистора позволяет производить ряд полезных расчетов.

По мере повышения рабочих частот начинают проявлять себя также электрические емкости, присущие *p-n* переходам транзистора.

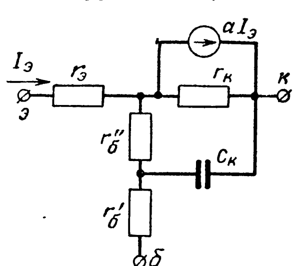


Рис. 3-81. Простейшая высокочастотная эквивалентная схема транзистора.

На рис. 3-81 приведена простейшая из высокочастотных эквивалентных схем транзистора, в которой уже фигурирует емкость коллекторного перехода $C_к$. Кроме того, в этой схеме прежнее сопротивление базы разделено на две части. Нижнюю часть его $r'_б$ называют высокочастотным или омическим сопротивлением базы. Оно отражает непосредственно электрическое сопротивление базовой области транзистора и проявляется (вместо низкочастотного $r_б$) при работе транзистора на высоких частотах.

Заметим, что

$$r'_б + r''_б = r_б. \qquad (3\text{-}112)$$

По значениям параметров α, $r'_б$, $C_к$ и f_α можно рассчитать максимальную частоту генерирования транзистора $f_{макс}$.

$$f_{макс} = \sqrt{\frac{\alpha f_\alpha}{30 r'_б C_к}}, \qquad (3\text{-}113)$$

где f_α — *Мгц*, $r'_б$ — *ом*, $C_к$ — *пф*, $f_{макс}$ — *Ггц* (1 *Ггц* = 1000 *Мгц*).

В связи с тем, что величины $r'_б$ и $C_к$ выступают в виде произведения, в справочных таблицах для высокочастотных транзисторов часто указывают прямо их произведение ($r'_б\ C_к$).

Максимальная частота генерирования одновременно является наивысшей частотой, на которой транзистор перестает усиливать мощность. Из формулы (3-113) видно, что для усиления сигналов наивысших частот надо применять транзисторы, у которых наряду с высоким значением f_α невелики значения $r'_б$ и $C_к$.

Существуют и другие более сложные эквивалентные схемы транзисторов, из числа которых упомянем наиболее распространенную смешанную П-образную эквивалентную схему (рис. 3-82), которая хорошо отражает частотные свойства транзисторов в широком диапазоне рабочих частот вплоть до (0,5÷0,7) f_α.

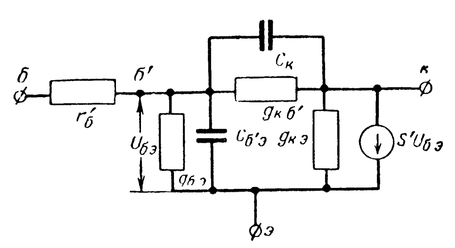


Рис. 3-82. Смешанная П-образная эквивалентная схема транзистора.

В этой схеме генератор $S'\dot{U}_{б'э}$ является генератором тока, создаваемый им ток пропорционален напряжению сигнала между точками *б'* — *э* эквивалентной схемы.

Предельно-допустимые режимы транзистора. Как и электронная лампа, транзистор характеризуется рядом величин, определяющих предельно допустимые режимы, превышение которых может вывести транзистор из строя.

Предельно допустимая температура коллекторного перехода $T_{к.\ доп}$ характеризует ту наиболее высокую температуру коллектора, при которой гарантируется работоспособность и сохранность транзистора. В силу температурной зависимости большинство электрических параметров при температуре $T_{к.\ доп}$ резко ухудшает свои значения.

Значение $T_{к.\ доп}$ зависит в основном от использованных в транзисторе полупроводниковых материалов: для германиевых транзисторов оно обычно составляет +(85÷÷100)° С, а для кремниевых достигает +150° С и выше.

Температура коллектора при работе транзистора зависит от температуры окружающей среды, от мощности, рассеиваемой внутри транзистора (в основном на коллекторном переходе, ибо эмиттерный переход обычно находится под очень низкими напряжениями) и от условий теплоотдачи. Предельно допустимая мощность, рассеиваемая коллектором $P_{к.\ доп}$ характеризует наибольшее значение мощности, длительно рассеиваемой коллектором, при котором гарантируется сохранность транзистора. Превышение величины $P_{к.\ доп}$ может вызвать перегрев транзистора и выход его из строя.

Величина $P_{к.\ доп}$ зависит от $T_{к.\ доп}$ и условий теплоотдачи, в частности — от температуры окружающего воздуха $T_{окр}$. С повышением $T_{окр}$ значение $P_{к.\ доп}$ снижается.

Для связи этих величин пользуются формулой

$$P_{к.\ доп} = \frac{T_{к.\ доп} - T}{R_т}, \qquad (3\text{-}114)$$

где $R_т$ — «тепловое сопротивление» транзистора (°С/*мвт* или °С/*вт*);

T — температура окружающего воздуха или температура колбы транзистора (°С) в соответствии с тем, относительно чего дается значение $R_т$.

Предельно допустимое напряжение на коллекторе в схеме с общей базой $U_{к.\ доп}$ определяется электрической прочностью коллекторного перехода или другими нежелательными эффектами, возникающими при повышении напряжения на коллекторе. Превышение $U_{к.\ доп}$ приводит к резкому увеличению тока коллектора, вслед за чем транзистор может выйти из строя в результате электрического или теплового пробоя.

Предельно допустимое напряжение на коллекторе в схеме с общим эмиттером $U_{к.\ э.\ доп}$ ограничивается, кроме того, возможностью лавинообразного нарастания тока коллектора из-за прохождения его через эмиттерный переход в прямом направлении. Значение $U_{к.\ э.\ доп}$ всегда ниже $U_{к.\ доп}$. Однако при включении транзистора в схемы, обеспечивающие высокую стабильность рабочей точки по постоянному току (стр. 108), величина $U_{к.\ э.\ доп}$ может приближаться к $U_{к.\ доп}$.

Предельно допустимое обратное напряжение на эмиттере $U_{э.\ доп}$ отсчитывается относительно базы и имеет тот же смысл, что и величина $U_{к.\ доп}$ для коллекторного перехода. Знание величины $U_{э.\ доп}$ необходимо при применении транзистора в некоторых импульсных схемах, где в моменты запирания транзистора к эмиттерному переходу прикладываются большие обратные напряжения.

Предельно допустимые токи коллектора $I_{к.\ доп}$ и эмиттера $I_{э.\ доп}$ устанавливаются для того, чтобы в режимах эксплуатации не были превышены те плотности потоков носителей в полупроводнике, при которых не нарушается разработанный механизм действия транзистора.

Основные расчетные формулы усилительного каскада на транзисторе. Основные характеристики усилительного каскада на транзисторе, работающего при малых уровнях сигнала, можно рассчитать при помощи *h*-параметров.

Коэффициент усиления по току K_I, характеризующий собою отношение тока сигнала $I_н$ в сопротивлении нагрузки $R_н$ к току, вводимому в цепь входного электрода $I_{вх}$, определяется как

$$K_I = \frac{I_н}{I_{вх}} = \frac{-h_{21}}{1 + h_{22}R_н}, \qquad (3\text{-}115)$$

где значения параметров h_{21} и h_{22} соответствуют выбранной схеме включения и рабочей точке.

Из этой формулы видно, что по мере увеличения сопротивления нагрузки величина K_I уменьшается. Если же $R_н \ll \frac{1}{h_{22}}$, то

$$K_I \approx -h_{21}, \qquad (3\text{-}115а)$$

т. е. имеет то же значение, что и в отсутствии сопротивления нагрузки. Условие $R_н \ll \frac{1}{h_{22}}$ обычно хорошо выполняется на практике при включении транзистора по схемам с общей базой и общим эмиттером, а потому обычно справедливо упрощенное соотношение (3-115а).

Коэффициент усиления по напряжению K_U, характеризующий отношение напряжения сигнала $U_н$ на нагрузке к напряжению сигнала $U_{вх}$ на входе транзистора, определяется соотношением

$$K_U = \frac{U_н}{U_{вх}} = \frac{-h_{21}R_н}{h_{11} + \Delta h R_н}, \qquad (3\text{-}116)$$

где

$$\Delta h = h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21}. \qquad (3\text{-}117)$$

При не очень больших значениях $R_н$ формула (3-116) также может быть упрощена:

$$K_U \approx \frac{-h_{21}R_н}{h_{11}}. \qquad (3\text{-}116а)$$

Таким образом значение K_U возрастает при увеличении сопротивления нагрузки.

Однако наиболее важной характеристикой усилителя на транзисторе является коэффициент усиления по мощ-

ности K_P. Он характеризует отношение мощности сигнала $P_н$, развиваемой в нагрузочном сопротивлении, к мощности $P_{вх}$, подводимой ко входу транзистора, и может быть определен как

$$K_P = \frac{P_н}{P_{вх}} = \frac{U_н}{U_{вх}} \cdot \frac{I_н}{I_{вх}} = K_U K_I. \qquad (3\text{-}118)$$

Важными характеристиками усилителя на транзисторе являются входное $R_{вх}$ и выходное $R_{вых}$ сопротивления транзистора в схеме усилителя.

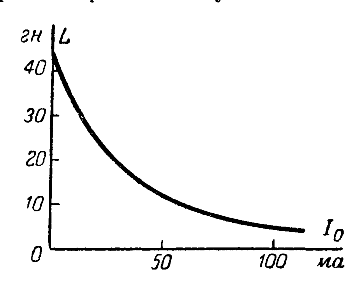


Рис. 3-83. Типичная зависимость индуктивности дросселя со стальным сердечником от постоянного подмагничивающего тока.

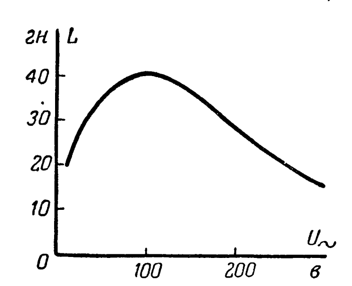


Рис. 3-84. Типичная зависимость индуктивности обмотки на стальном сердечнике от приложенного к ней переменного напряжения.

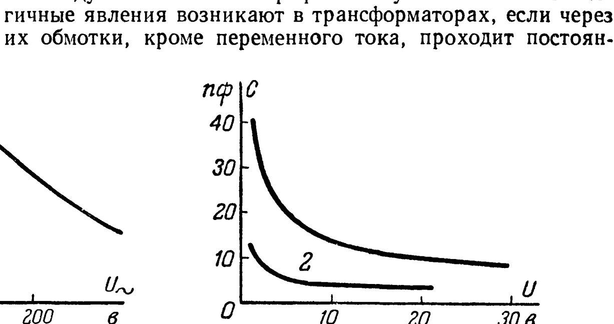


Рис. 3-85. Типичные характеристики нелинейных емкостей:

а — емкости *p-n* перехода от обратного напряжения; *б* — входной емкости электронной лампы от отрицательного напряжения на управляющей сетке.

Для расчета этих величин пользуются следующими формулами:

$$R_{вх} = \frac{h_{11} + \Delta h R_н}{1 + h_{22} R_н}; \qquad (3\text{-}119)$$

$$R_{вых} = \frac{h_{11} + R_г}{\Delta h + h_{22} R_г}. \qquad (3\text{-}120)$$

При невысоких значениях $R_н$ формулу (3-119) можно упростить:

$$R_{вх} \approx h_{11}. \qquad (3\text{-}119а)$$

Пример. Рассчитать основные характеристики усилительного каскада по схеме с общим эмиттером на транзисторе типа П14 ($h_{11} = 800$ *ом*, $h_{12} = 3 \cdot 10^{-4}$, $h_{21} = 25$, $h_{22} = 20$ *мкмо*), если $R_н = R_г = 3$ *ком*.

В данном случае $R_н \ll 1/h_{22}$ (3 *ком* $\ll$ 50 *ком*), поэтому расчет можно вести по приближенным формулам:

$$K_I \approx -h_{21} = -25;$$

$$K_U = \frac{-h_{21} R_н}{h_{11}} = \frac{-25 \cdot 3000}{800} = -94$$

(знаки минуса при значениях K_I и K_U свидетельствуют о смене полярности сигнала при усилении по схеме с общим эмиттером);

$$K_P = K_I K_U = (-25)(-94) = 2350,$$

т. е. около 33,5 *дб*;

$$R_{вх} \approx h_{11} = 800 \text{ ом};$$

$$R_{вых} = \frac{h_{11} + R_г}{(h_{11} + R_г) h_{22} - h_{12} h_{21}} =$$

$$= \frac{800 + 3000}{3800 \cdot 20 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-4} \cdot 25} = 55\,500 \text{ ом}.$$

Нелинейные реактивные сопротивления. Наряду с нелинейными сопротивлениями существуют нелинейные индуктивности и нелинейные емкости. Хорошо известно, например, что индуктивность дросселей со стальным сердечником, применяемых в сглаживающих фильтрах выпрямителей, зависит от проходящего через их обмотку постоянного тока. Наличие постоянного подмагничивания снижает магнитную проницаемость сердечника, а вместе с тем и индуктивность дросселя (рис. 3-83). Сильное подмагничивание может вызвать насыщение сердечника, причем индуктивность катастрофически уменьшается. Аналогичные явления возникают в трансформаторах, если через их обмотки, кроме переменного тока, проходит постоянный ток (например, в междукаскадных и выходных трансформаторах однотактных каскадов).

Для предотвращения подобных явлений сердечники дросселей и трансформаторов при наличии постоянных токов собирают с «воздушным» зазором (на самом деле зазор делают с помощью прокладки из электрокартона или другого ненамагничиваемого материала).

Зазор в сердечниках из трансформаторной стали необходим, если

$$LI^2 > (0{,}03 \div 0{,}05), \qquad (3\text{-}120)$$

где L — индуктивность обмотки (в генри), по которой проходит постоянный ток I (в амперах).

Толщина зазора должна равняться

$$\delta = \frac{Iw}{1400}, \qquad (3\text{-}121)$$

где w — число витков в обмотке с постоянным током.

Особенно велико влияние постоянного подмагничивания в трансформаторах с сердечниками из пермаллоя: индуктивность обмоток их может упасть в тысячи раз.

К числу нелинейных эффектов в индуктивностях, снабженных стальными сердечниками, относится также зависимость индуктивности от амплитуды переменного тока. При малых переменных токах (напряжениях) индуктивность имеет некоторое начальное значение, а по мере увеличения тока индуктивность сначала возрастает, а затем снова начинает снижаться (рис. 3-84).

При особенно больших токах форма напряжения начинает отличаться от формы тока, т. е. возникают заметные нелинейные искажения. Для их предотвращения не следует уменьшать объем сердечника против расчетного значения. Однако в некоторых случаях нелинейные свойства индуктивностей находят полезное применение. Так например, на зависимости величины индуктивности от постоянного подмагничивающего тока основано действие некоторых типов стабилизаторов напряжения, магнитных усилителей и др. Этим же явлением пользуются иногда для электрической настройки или подстройки частоты генера-

торов, для чего на сердечнике (большей частью ферритовом), кроме катушки колебательного контура, располагают специальную намагничивающую обмотку с регулируемым постоянным током.

Примерами нелинейной емкости являются входная емкость электронной лампы и емкость коллекторного перехода транзистора. В обоих случаях величина электрической емкости уменьшается по мере повышения запирающего напряжения (рис. 3-85), что связано с изменением положения пространственных зарядов (в лампе прикатодное электронное облако прижимается к катоду, а в транзисторе приколлекторный объемный заряд внедряется глубже в область базы).

Хотя в некоторых случаях (в усилителях, охваченных системой АРУ, в генераторах высокой частоты) нелинейные свойства этих емкостей неблагоприятны, ибо приводят к нестабильной настройке колебательных контуров, иногда эти эффекты находят полезное применение для целей автоматической подстройки частоты гетеродинов, для осуществления частотной модуляции и электрической настройки колебательных контуров.

Для указанных целей начинают находить применение полупроводниковые диоды и специальные конденсаторы с сегнетоэлектриками (изоляционными материалами, диэлектрическая проницаемость которых сильно зависит от приложенного электрического поля, т. е. от напряжения на обкладках конденсатора), называемые в а р и к о н д а м и.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫЕ ПРИЕМНИКИ

4-1. Классификация радиовещательных приемников

Основные качественные характеристики радиовещательных приемников. *Номинальная выходная мощность* — максимальное значение электрической мощности сигнала с частотой 400 *гц*, подводимого к громкоговорителям приемника, при котором нелинейные искажения не превышают оговоренной для приемников данного класса величины.

Для воспроизведения радиопередач в жилых помещениях обычно достаточна выходная мощность в несколько десятых долей ватта. Однако в связи с пониженной чувствительностью уха к низшим частотам звукового спектра, а также в связи с резким снижением нелинейных искажений при работе приемника на неполную мощность, номинальная выходная мощность радиовещательных приемников часто достигает 2—5 *вт*. При правильной эксплуатации приемника номинальная выходная мощность должна достигаться только на пиках громкости радиопередач.

Нормальная выходная мощность для любого радиовещательного приемника считается равной 0,1 от номинальной выходной мощности. Именно при таком уровне выходной мощности определяется большинство качественных характеристик приемника.

Чувствительность приемника определяется величиной э. д. с. высокочастотного сигнала, подведенного к гнезду антенны через стандартный эквивалент антенны (см. стр. 190) и обеспечивающего получение нормальной выходной мощности при отношении сигнал/собственный шум не хуже 20 *дб*. Чувствительность приемников с встроенной ферритовой антенной определяют напряженностью поля, необходимой для выполнения тех же условий при ориентации антенны на максимум громкости.

В случае амплитудной модуляции (АМ) высокочастотный сигнал модулируется частотой 400 *гц* с коэффициентом модуляции 30%, а в случае частотной модуляции (ЧМ) высокочастотный сигнал модулируется частотой 1000 *гц* с девиацией ± 15 *кгц*.

На практике количество принимаемых станций и качество их приема находятся в сильной зависимости от уровня внешних атмосферных и индустриальных помех, причем последние особенно велики в промышленных центрах и часто ограничивают возможности приема удаленных станций скорее, чем чувствительность приемника.

Избирательность приемника характеризует ослабление сигналов мешающих радиостанций. Различают избирательности по соседнему каналу, по зеркальному каналу и по частоте, равной промежуточной (последние две только для супергетеродинных приемников).

Несущие частоты многих радиовещательных станций различаются всего на 8—10 *кгц*, что при высокой чувствительности приемника может приводить к прослушиванию наряду с принимаемой станцией сигналов соседних по частоте радиостанций. В связи с этим избирательность по соседнему каналу, определяемая ослаблением сигнала при расстройке приемника на ± 10 *кгц* (для диапазонов ДВ, СВ и КВ) или на ± 250 *кгц* (для УКВ), оказывается весьма важным показателем, определяющим качество приемника.

Возможность проникновения в усилитель промежуточной частоты супергетеродинного приемника сигналов радиостанций, частота которых отличается от принимаемой на удвоенную промежуточную (так называемый прием по зеркальному каналу, см. стр. 193), является источником дополнительных помех, уровень которых определяется избирательностью по зеркальному каналу. Последняя показывает, во сколько раз чувствительность приемника к сигналу с зеркальной частотой ниже чувствительности к сигналу основной частоты.

Аналогично определяется избирательность приемника к сигналу с частотой, равной промежуточной.

Диапазон принимаемых частот — совокупность всех радиочастот, на которые настраивается приемник.

Поскольку для радиовещания отводятся частоты, заключенные в пределах весьма обширного диапазона частот, у радиовещательных приемников полный диапазон принимаемых частот, как правило, разбивается на несколько частичных поддиапазонов.

Полоса пропускаемых частот — это совокупность низких частот, передаваемых с определенными нормами на частотные искажения. В наиболее полном виде этот показатель характеризует радиоприемник, если указывается полоса пропускаемых частот всего приемника по з в у к о в о м у д а в л е н и ю, создаваемому громкоговорителем (график изменения звукового давления на различных частотах относительно частоты 1000 *гц* называют в этом случае к р и в о й в е р н о с т и).

Часто пользуются также понятиями полосы пропускаемых частот для отдельных частей приемника: усилителя низкой частоты, высокочастотной части, тракта АМ или тракта ЧМ и т. д.

Неискаженное воспроизведение радиопрограммы требует равномерной передачи всех звуковых частот, воспринимаемых ухом человека (примерно от 16 *гц* до 15 *кгц*). Удовлетворение этого требования встречает серьезные технические затруднения не только в радиоприемниках, но и в передающей части радиоканала и кроме того находится в противоречии с требованиями к избирательности приемника. Взаимная увязка требований к полосе пропускания и к избирательности легче всего осуществляется в диапазоне УКВ при использовании ЧМ. Поэтому для приемников различных классов и для различных трактов (АМ и ЧМ) предусматриваются разные полосы пропускаемых частот от 200—3000 *гц* до 60—12 000 *гц*.

Таблица 4-1

Классификация радиовещательных приемников

Важнейшие параметры	Приемники 1-го класса сетевые	Приемники 2-го класса		Приемники 3-го класса		Приемники 4-го класса	
		сетевые	батарейные	сетевые	батарейные	сетевые	батарейные
Номинальная выходная мощность, *вт*	4	1,5	0,15	0,5	Оговаривается в технических условиях на приемник		
Потребление электроэнергии при номинальных напряжениях источников питания (не более), *вт*	Определяется числом и типом ламп		Полная мощность 1,9	Определяется числом и типом ламп	Полная мощность 1,3	Определяется числом и типом ламп	Полная мощность 0,8
Диапазоны принимаемых волн (не уже): ДВ, *кгц*	Оговариваются особо	150—415	150—415	150—415	150—415	150—415	150—415
СВ, *кгц*		520—1600	520—1600	520—1600	520—1600	520—1600	520—1600
КВ, *Мгц*		3,95—12,1	3,95—12,1	Допускается 3,95—12,1		—	—
	На диапазоне КВ необходимо наличие полурастянутых или растянутых диапазонов					Допускается вместо плавной настройки несколько фиксированных в пределах ДВ и СВ	
Промежуточная частота, *кгц*	465±2	465±2	465±2 или 110—115	465±2 или 110—115	465±2 или 110—115	465±2 или 110—115	465±2 или 110—115
Чувствительность при 0,1 номинальной мощности (не хуже), *мкв*: на ДВ и СВ	50	200	200	300	400	Оговаривается в технических условиях на приемник	
на КВ	50	300	300	500	—		
Избирательность (ослабление при расстройке на 10 *кгц*) не хуже, *дб*	46	26	26	20	20	Оговаривается в технических условиях на приемник	
Ослабление зеркального канала не менее, *дб*: на ДВ	60	36	36	26	26	—	—
на СВ	50	30	30	20	20	—	—
на КВ	25	12	12	—	—	—	—
Ослабление сигнала частоты равной промежуточной (не менее), *дб*	40	34	34	20	20	—	—
Действие системы АРУ: изменение напряжения на входе приемника, *дб*	60	26	26	26	26	—	—
соответствующее изменение напряжения на выходе приемника, *дб*	12	8	8	10	10	—	—
Кривая верности (по звуковому давлению) при неравномерности 14 *дб* на всех частотах и 18 *дб* — на частотах ниже 250 *кгц* (в настольном оформлении) не уже, *гц*	60—6500	100—4000	100—4000	150—3500	150—3500	200—3000	200—3000
Коэффициент нелинейных искажений всего тракта усиления приемника по звуковому давлению при номинальной мощности и глубине модуляции 30% на частотах: от 200 до 400 *гц*, не более %	7	7	7	12	12	12	Оговаривается в технических условиях на приемник
свыше 400 *гц*, не более %	5	7	7	10	10	10	
Наличие индикатора настройки	Есть	Есть	Нет	Не обязательно	Нет	Нет	Нет
Наличие переменной полосы пропускания по промежуточной частоте	Есть	Не обязательно		Нет	Нет	Нет	Нет
Возможность включения дополнительного громкоговорителя	Есть	Есть	Есть	Не обязательна		Нет	Нет
Рекомендуемое число ламп, не более	Не ограничивается	7	7	5	5	4	4

Примечание. Во всех батарейных приемниках должна быть предусмотрена возможность включения их громкоговорителя в трансляционную сеть.

Кроме рассмотренных здесь основных качественных характеристик радиовещательных приемников имеются и другие, как-то: стабильность настройки (уход частоты гетеродина), уровень фона переменного тока, ослабление паразитной амплитудной модуляции в тракте ЧМ и т. д. Некоторые из них рассматриваются ниже (гл. 12).

Детекторные приемники являются простейшими. Они пригодны в основном для приема на телефонные трубки мощных радиостанций на сравнительно близком расстоянии. В настоящее время детекторные приемники в городах утратили свое значение. Однако для неэлектрифицированной местности они еще представляют некоторый интерес, в особенности при добавлении к ним транзисторных усилителей. По своим возможностям и качеству работы все детекторные приемники весьма сходны между собой.

Ламповые приемники в зависимости от схемы и конструкции сильно различаются по своим свойствам. По способу питания они разделяются на две категории: сетевые, предназначенные для установки в электрифицированной местности, и батарейные — для неэлектрифицированной местности. По возможностям приема того или иного числа станций ламповые приемники возможно разделить также на две группы: для местного и для дальнего приема. Типичным приемником для приема местных станций является одноконтурный приемник прямого усиления, состоящий из регенеративного детектора и одного-двух каскадов усиления низкой частоты. При наличии регулируемой обратной связи им иногда можно принимать и дальние достаточно мощные станции. Но рекомендовать его можно лишь для приема местных и ближайших иногородних станций, ибо дальние станции слышны на него нерегулярно. Лучше работают двухконтурные приемники прямого усиления, у которых несколько выше избирательность.

В настоящее время преобладающее распространение получили супергетеродинные приемники. По чувствительности, качеству звучания и конструктивному оформлению супергетеродины делятся на четыре класса (ГОСТ 5651—51). Классификация приемников приведена в табл. 4-1.

В связи с развитием радиовещания на УКВ с ЧМ в супергетеродинных приемниках 1—3-го классов, начиная с 1955 г. начали вводить УКВ ЧМ тракт. Для таких приемников была введена нормаль НИО-202 000. Классификация приемников с УКВ диапазоном приведена в табл. 4-2.

Супергетеродины 4-го класса. Это — дешевые массовые приемники, заменившие собой двухконтурные приемники прямого усиления. Они оформляются в виде небольших настольных моделей весом 4—7 *кг*, не имеют коротковолнового диапазона и в электрической схеме содержат ряд упрощений. Вследствие малых размеров ящика эти приемники не обеспечивают высококачественного звучания. Представителями этой группы являются приемники АРЗ, «Москвич» и др.

Супергетеродины 3-го класса (обычно с коротковолновым диапазоном). Они состоят из следующих типовых каскадов: преобразователя частоты на одной лампе, одного каскада усиления промежуточной частоты, диодного детектора и двух каскадов усиления низкой частоты. Обычно они имеют один настраивающийся контур на входе и два фильтра промежуточной частоты. Общее число ламп — не более пяти. В целях удешевления эти приемники часто имеют упрощенную схему силовой части без трансформатора и не снабжаются оптическим индикатором настройки. Их электрические характеристики лишь немногим хуже, чем у среднего супергетеродина второго класса. Собираются они в простых ящиках, иногда стальных штампованных. Несколько большие, чем у предыдущей группы, размеры ящика улучшают качество воспроизведения. Эта группа приемников может быть отнесена к разряду

Таблица 4-2

Классификация радиовещательных приемников с УКВ ЧМ диапазоном

Важнейшие параметры	Класс приемника		
	1	2	3
Номинальная выходная мощность, *вт*	6	2	0,5
Диапазон принимаемых частот УКВ, *Мгц*	64,5—73,0	64,5—73,0	64,5—73,0
Промежуточная частота для диапазона УКВ, *Мгц*	8,4±0,1	8,4±0,1	8,4±0,1
Чувствительность при 0,1 номинальной выходной мощности: на УКВ, *мкв*	10	20	20
на ДВ и СВ с внутренней ферритовой антенной, *мв/м*	5	10	—
Ослабление приема при расстройке: на ±10 *кгц* в диапазонах ДВ, СВ и КВ, *дб*	56	30	26
на ±250 *кгц* в диапазоне УКВ, *дб*	34	26	26
Ослабление зеркального канала в диапазонах: ДВ, *дб*	56	36	26
СВ, *дб*	46	26	20
КВ, *дб*	26	14	—
УКВ, *дб*	26	20	20
Ослабление паразитной амплитудной модуляции в диапазоне УКВ, *дб*	20	10	10
Действие системы АРУ: изменение напряжения на входе, *дб*	60	26	26
соответствующее изменение напряжения на выходе, *дб*	10	12	12

Продолжение табл. 4-2

Важнейшие параметры	Класс приемника		
	1	2	3
Частотная характеристика всего тракта (кривая верности) по звуковому давлению: при неравномерности 14 *дб* в диапазонах ДВ, СВ и КВ и 18 *дб* на частотах ниже 250 *кгц*, *гц*	60—6500	80—4000	150—3500
При неравномерности 14 *дб* в диапазоне УКВ, *гц*	60—12 000	80—10 000	100—5000
Регулировка тембра плавная и раздельная: на нижних частотах, *дб*	15	12	—
на верхних частотах, *дб*	15	12	—
Уровень фона, *дб*	—46	—36	—32
Неравномерность частотной характеристики направленности в пределах угла ±90°, *дб*	15	20	—

Примечание. По остальным параметрам требования к приемникам с УКВ ЧМ диапазоном совпадают с требованиями табл. 4-1.

приемников дальнего приема. Типичные представители их: «Рекорд», «Огонек».

Супергетеродины 2-го класса — наиболее распространенная группа современных радиоприемников («Байкал», «ВЭФ-Аккорд», «Октава» и др.) Они обычно имеют на входе также один настраивающийся контур. Для приема коротких волн устраиваются растянутые или полурастянутые поддиапазоны. Приемники обычно снабжаются оптическим индикатором настройки и регуляторами тембра. Число ламп может доходить до семи. Хорошие динамические громкоговорители и значительного объема настольные ящики у этих приемников обеспечивают хорошее воспроизведение звука. Некоторые модели этих приемников снабжаются проигрывателем граммофонных пластинок и выпускаются в виде радиол настольного типа.

Супергетеродины 1-го класса заключает не менее девяти-десяти ламп, снабжаются растянутыми коротковолновыми диапазонами, имеют один—два каскада усиления высокой частоты, мощный усилитель низкой частоты и комплект высококачественных динамических громкоговорителей. Кроме того, часто вводятся в их схему специальные усовершенствования (кнопочная настройка, переменная полоса пропускания, устройства для снижения помех и т. п.). Выпускаются как отдельные приемники, так и радиолы, в том числе консольного типа. Представителями супергетеродинов 1-го класса являются — «Беларусь-57», «Люкс».

Особое положение занимают автомобильные приемники и переносные. Автомобильные приемники строятся исключительно по супергетеродинной схеме, приспосабливаются к питанию от стартерного автомобильного аккумулятора и имеют конструкцию, специально предназначенную для установки в автомашине. Иногда автомобильные приемники снабжаются системой дистанционного управления, осуществляемой посредством гибких валов, так как на панели управления автомобиля часто не хватает места для установки самого приемника.

Переносные приемники выпускаются трех типов: чемоданные с питанием от сети переменного тока (например, радиола «Казань») портативные ламповые с питанием от батарей, размещаемых внутри приемника («Турист») и миниатюрные приемники на транзисторах (в том числе карманные, например «Нева»).

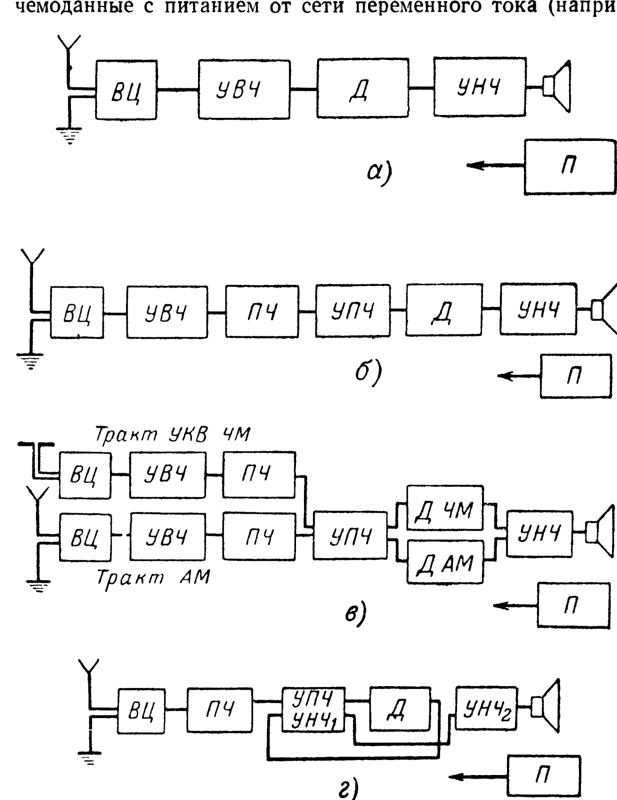


Рис. 4-1. Блок-схемы радиовещательных приемников.

а — прямого усиления; *б* — супергетеродина; *в* — супергетеродина с УКВ ЧМ трактом; *г* — рефлексного приемника по супергетеродинной схеме.

Переносные ламповые приемники как сетевые, так и батарейные отличаются от аналогичных настольных приемников только конструктивным оформлением и обязательным наличием встроенной ферритовой антенны.

Приемники с транзисторами. Большим достоинством транзисторов является их высокая экономичность. Поэтому транзисторы начинают применяться не только в миниатюрных переносных приемниках, но также и в батарейных приемниках для неэлектрифицированной местности.

Наряду с приемниками, собираемыми полностью на транзисторах («Минск», «Воронеж»), выпускаются комбинированные приемники, в которых транзисторы применены только в усилителе низкой частоты, что также дает большой экономический эффект («Родина-59»).

Блок-схемы радиовещательных приемников. Основные блок-схемы радиовещательных приемников приведены на рис. 4-1.

Приемник прямого усиления (рис. 4-1, *а*) в общем случае включает в себя входные цепи *ВЦ*, служащие для выделения сигнала, воспринятого антенной, усилитель высокой частоты *УВЧ*, детектор *Д*, усилитель низкой частоты *УНЧ*, работающий на громкоговоритель, и схему питания *П*.

В супергетеродинном приемнике (рис. 4-1, *б*) между усилителем высокой частоты и детектором появляется преобразователь частоты *ПЧ* и усилитель промежуточной частоты *УПЧ*.

У различных приемников отдельные элементы общей блок-схемы могут отсутствовать (например, *УВЧ* у супергетеродинов 2—4-го классов) или повторяться дважды (отдельный комплект высокочастотных цепей и *ЧМ* детектор для канала *УКВ*, рис. 4-1, *в*). В целях экономии общего числа ламп или транзисторов иногда прибегают к рефлексным схемам, где одна лампа выполняет поочередно функции *УПЧ* и *УНЧ* (рис. 4-1, *г*).

4-2. Высокочастотная часть приемника АМ

Связь с антенной. *Непосредственное подключение* антенны к колебательному контуру *LC* (рис. 4-2, *а*) применяется только в детекторных радиоприемниках. Хотя в этой схеме в колебательный контур из антенны передается максимальная энергия, но емкость и индуктивность антенны оказывают влияние на настройку колебательного контура и, так как они зависят от ее размеров, то при этом становится невозможной градуировка колебательного контура.

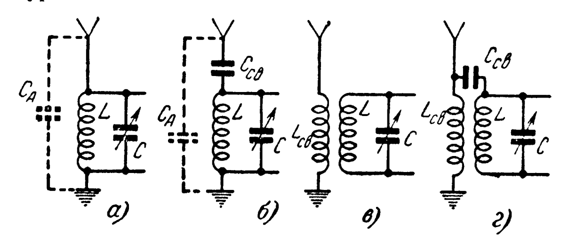


Рис. 4-2. Основные виды связи с антенной.

а — непосредственная; *б* — емкостная; *в* — индуктивная; *г* — комбинированная.

Более распространена *емкостная связь* (рис. 4-2, *б*). При достаточно малой емкости конденсатора связи $C_{св}$ (обычно в пределах 10—40 *пф*) влияние параметров антенны на настройку колебательного контура мало́, так как емкость антенны присоединяется к контуру последовательно с емкостью $C_{св}$, вследствие чего полная емкость, вносимая в контур антенной цепью, не может превысить $C_{св}$.

Недостатком емкостной связи является то, что степень связи антенны с контуром меняется при настройке контура на разные частоты. На низших частотах диапазона эквивалентное сопротивление колебательного контура снижается, а емкостное сопротивление конденсатора связи возрастает. Это приводит к резкому ослаблению связи с антенной в длинноволновой части диапазона и к ухудшению чувствительности приемника.

Применение емкостной связи с антенной рационально в случае контуров, настроенных на фиксированную частоту.

Индуктивная связь (рис. 4-2, *в*) находит более широкое применение. Индуктивность катушки $L_{св}$ практически определяет собственную частоту антенны. Если эту индуктивность сделать малой, то собственная волна антенны окажется короче самой короткой волны диапазона и восприимчивость ее к более длинным волнам уменьшится. Кроме того, уменьшится и степень связи на более низких частотах.

В результате этого чувствительность приемника к концам диапазонов (на низших частотах) будет уменьшаться. Если индуктивность катушки связи сделать достаточно большой, чтобы собственная частота антенной цепи получилась меньше наинизшей частоты диапазона, то наблюдается несколько меньшее усиление в начале диапазона (на высших частотах) и повышение его в конце диапазона (на низших частотах). Неравномерность связи по диапазону во втором случае получается значительно меньше, чем в первом; к тому же ее легко выравнять одновременным применением слабой емкостной связи (рис. 4-2, *г*), которая компенсирует ослабление связи в начале диапазона. Для этой цели емкость конденсатора $C_{св}$ выбирается в пределах 5—10 *пф*; иногда эта выравнивающая емкостная связь образуется емкостью между катушками $L_{св}$ и L или между антенным проводом и цепями колебательного контура.

Понижение собственной частоты антенной цепи является также эффективной мерой ослабления зеркального приема в супергетеродинах на средних и длинных волнах. Зеркальная частота выше принимаемой на удвоенную промежуточную, так что на средневолновом и длинноволновом диапазонах ей соответствуют волны короче принимаемых. Поэтому свойственное такой антенной цепи уменьшение усиления в области более коротких волн способствует устранению зеркального приема. Катушка связи $L_{св}$, намотанная на одном каркасе с контурной, содержит в первом варианте связи меньшее число витков, чем последняя, а во втором варианте число витков катушки связи $L_{св}$ обычно в 2—2,5 раза превышает число витков контурной катушки.

Если в результате неправильного расчета катушки $L_{св}$ или в связи с применением очень маленький антенны собственная частота ее попадает в пределы диапазона принимаемых волн, то понизить частоту антенной цепи можно присоединением параллельно катушке $L_{св}$ конденсатора.

Ферритовая антенна. В последние годы находит широкое распространение ферритовая (магнитная) антенна, которая представляет собой катушку, намотанную на стержне круглого или прямоугольного сечения, выполненном из особой керамики, обладающей высокой магнитной проницаемостью ($\mu \approx 600$). Такая катушка восприимчива к магнитной составляющей высокочастотного поля, причем применение феррита увеличивает наводимую в катушке э. д. с. в десятки — сотни раз. Введение такой катушки во входной колебательный контур радиоприемника позволяет осуществлять радиоприем без подключения внешней антенны. Ферритовая антенна применяется в диапазонах ДВ и СВ и обладает ярко выраженной направленностью.

Ферритовые антенны применяют в портативных переносных приемниках, а также для снижения уровня помех (этому содействует как направленное действие, так и чувствительность лишь к магнитной составляющей высокочастотного поля) в обычных радиоприемниках.

Однако действующая высота (отношение э. д. с., наведенной в контуре антенны, к напряженности поля) ферритовой антенны весьма мала (до 1—2 *см*), что приводит к резкому снижению чувствительности приемника, и для приема дальних радиостанций обычно предусматривается возможность подключения внешней антенны.

В портативных приемниках на ферритовом стержне располагают непосредственно катушки СВ и ДВ поддиапазонов входного колебательного контура (рис. 4-3, *а*), причем для ослабления влияния неработающей секции их обычно разносят друг от друга, располагая у концов стержня. Ориентация антенны на максимум громкости принимаемой станции или на минимальный уровень помехи осуществляется подбором положения самого приемника.

В стационарных приемниках для вращения ферритовой антенны применяется специальный механизм, связанный с выведенной наружу ручкой. В одном из крайних

положений этой ручки происходит включение внешней антенны. В стационарных приемниках часто применяют неполную связь ферритовой антенны со входным колебательным контуром, для чего на ферритовом стержне размещают только часть витков контурной катушки (рис. 4-3, *б*) или же обмотку ферритовой антенны связывают с колебательным контуром посредством автотрансформаторной связи.

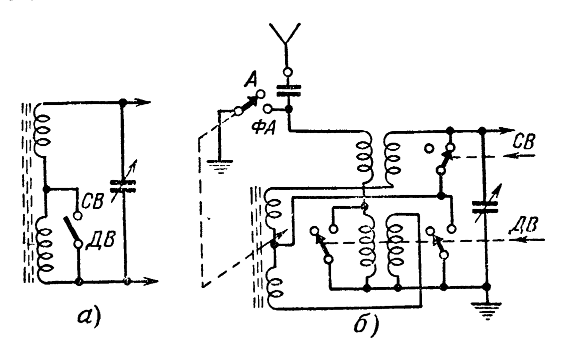


Рис. 4-3. Схемы связи ферритовой антенны с входным контуром.

а — с полной связью; *б* — с неполной связью.

Входные колебательные контуры. Входные контуры выделяют напряжение колебаний принимаемого радиопередатчика и подают его на управляющую сетку первой лампы приемника.

Применяют две схемы входных цепей: с одиночным настраиваемым контуром (см. рис. 3-39) и с двумя контурами, образующими полосовой фильтр обычно с внутренней емкостной связью (рис. 3-37, *б*). Применение второй схемы сопряжено с удорожанием приемника, поэтому ее используют только в приемниках повышенного качества.

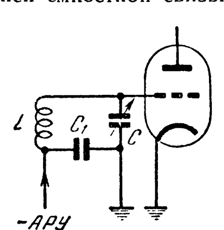


Рис. 4-4. Подача смещения на сетку при отсутствии сопротивления в цепи катода.

Применение внутренней емкостной связи объясняется тем, что при ней остается довольно постоянной в любых точках диапазона полоса пропускания частот.

Еще большим постоянством полосы пропускаемых частот обладает схема с комбинированной индуктивно-емкостной связью (рис. 3-37, *г*), где индуктивная связь осуществляется небольшими катушками, из 10—20 витков каждая. Этой схеме присуща также более равномерная передача напряжения по диапазону, в то время как чисто емкостная связь между контурами несколько ослабляет напряжение на втором контуре в начале диапазона (хотя это может быть компенсировано применением емкостной связи первого контура с антенной).

Коэффициент передачи напряжения у полосового фильтра бывает порядка 1—3 и оказывается ниже, чем у одиночного контура (2—5); но двукратное понижение чувствительности приемника возмещается улучшением других его параметров. Особенно важны полосовые фильтры в супергетеродинах, где они способствуют ослаблению большинства специфических недостатков этих приемников и обеспечивают более равномерное усиление всего спектра боковых частот.

Отметим, что низкопотенциальный конец контурных катушек не всегда присоединяется непосредственно к заземленной точке. Очень часто через катушку контура подается на управляющую сетку первой лампы напряжение смещения или АРУ. Если только сеточное смещение создается не на сопротивлении, включенном в цепь катода лампы, то низкопотенциальный конец катушки заземляется, через постоянный конденсатор C_1 (рис. 4-4), емкость которого при согласованной настройке ряда контуров должна, по крайней мере, в 20 раз превосходить конечную емкость конденсатора настройки, в противном случае максимальная емкость контура заметно уменьшается введением в него такого последовательного конденсатора C_1. Этот конденсатор нужно поместить при монтаже так, чтобы путь току высокой частоты от контурной катушки через него к заземленному выводу конденсатора C был наикратчайшим.

Усилитель высокой частоты. В приемнике прямого усиления усилитель высокой частоты служит главным образом целям повышения чувствительности приемника, в супергетеродинных же приемниках он применяется в основном для повышения избирательности по отношению к тем мешающим частотам, которые в силу особенностей супергетеродинного принципа могут проникнуть в усилитель промежуточной частоты. Это позволяет значительно уменьшить свисты и шумы, свойственные супергетеродинам среднего качества. Кроме того, наличие усилителя высокой частоты ослабляет связь гетеродина с антенной и способствует уменьшению излучения его колебаний. В полной мере справиться с этими задачами может только резонансный усилитель.

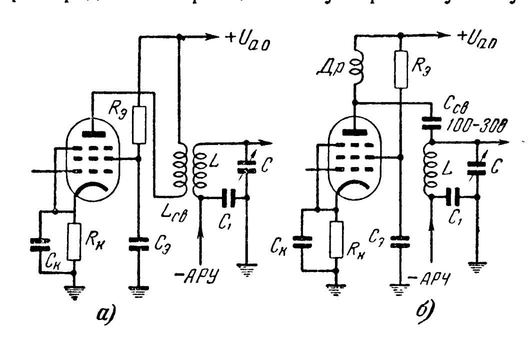


Рис. 4-5. Усилитель высокой частоты.

а — схема с индуктивной связью; *б* — схема параллельного питания.

В *резонансном усилителе* нагрузочным сопротивлением является настроенный на усиливаемую частоту колебательный контур. В зависимости от способа включения контура различают схемы с непосредственной, автотрансформаторной и индуктивной или трансформаторной связью.

Наибольшее распространение находят схемы рис. 4-5. Схема с индуктивной связью позволяет подбирать связь между катушками $L_{св}$ и L, причем можно получить либо наибольшее усиление, либо наилучшую избирательность. Кроме того, получающееся здесь изменение связи по диапазону в некоторой мере может компенсировать неравномерность коэффициента передачи входных цепей. При схеме рис. 4-5, *б* во избежание расстройки колебательного контура и неравномерности усиления индуктивность анодного дросселя *Др* должна, по крайней мере, в 20 раз превосходить индуктивность контурной катушки наиболее длинноволнового диапазона.

В усилителях высокой частоты применяются обычно высокочастотные пентоды. Коэффициент усиления K каскада на пентоде по схеме рис. 4-5, *б* приблизительно равен

$$K = SZ_а, \qquad (4\text{-}1)$$

где Z_a — резонансное сопротивление контура на выбранной для расчета частоте;

S — крутизна характеристики в рабочей точке.

В схемах с индуктивной (трансформаторной) связью коэффициент усиления зависит еще от взаимоиндукции M катушек $L_{св}$ и L:

$$K = SZ_a \frac{M}{L}, \tag{4-2}$$

где

$$M = k\sqrt{L_{св}L}. \tag{4-3}$$

Коэффициент связи k можно принять равным 0,24 (среднее значение).

При заданных контурах усиление каскада может быть повышено только за счет применения лампы с большей крутизной характеристики. Однако предел усилению ставит междуэлектродная емкость сетка — анод лампы $C_{с.\ а.}$, так как возникающая через нее обратная связь при больших усилениях приводит к самовозбуждению схемы. Чем выше частота, тем меньше предельно возможное усиление каскада.

При монтаже усилителя к емкости $C_{с.\ а.}$ может прибавиться емкость между проводами, присоединенными к управляющей сетке и аноду лампы. В связи с этим может резко уменьшаться максимально допустимый коэффициент усиления, и каскад самовозбудится. Для предотвращения этого надо особенно внимательно монтировать провода указанных цепей, по возможности удаляя их друг от друга. На практике коэффициент усиления высокочастотного каскада радиовещательного приемника составляет в среднем 20—50, снижаясь на коротких волнах до 10—20.

Избирательность усилителя высокой частоты определяется избирательностью резонансного колебательного контура. Если элементы схемы выбраны правильно и не увеличивают затухания контура, то резонансная кривая усилителя совпадает с резонансной кривой контура. Если имеется два или большее число каскадов усиления, то общий коэффициент усиления равен произведению коэффициентов усиления всех каскадов, а избирательность усилителя возрастает с увеличением числа настроенных контуров.

Средние значения конденсаторов и сопротивлений, применяемых в высокочастотных усилителях радиовещательных приемников, указаны в табл. 4-3 и 4-4.

Таблица 4-3

Применяемые в усилителях высокой частоты конденсаторы (см. схемы на рис. 4-5)

Емкости	Рабочий диапазон волн усилителя		
	Длинные, средние и короткие волны	Короткие волны	Ультракороткие волны
$C_к$	0,1 *мкф*	5000 *пф*	1000 *пф*
$C_э$	0,01—0,1 *мкф*	5000 *пф*	1000 *пф*
C_1	0,02—0,1 *мкф*	5000—10 000 *пф*	500 *пф*

Примечание. Емкость в развязывающей цепи берется не менее двадцатикратной максимальной емкости конденсатора настройки.

Таблица 4-4

Типовые режимы ламп и величины сопротивлений

Напряжение и сопротивление	6К7	6К4, 6К4П	6К3, 6К1П	6К3, 6К7, 6К1П	2Ж2М, 2К2М	1К1П		1К2П
U_{a0}, *в*	250	250	250	100	120	90	45	60
U_a, *в*	250	250	250	100	120	90	45	60
$U_э$, *в*	100	100	100	100	70	45	45	45
U_{c0}, *в*	—3	—1	—3	—1	—0,5	0	0	0
$R_к$, *ом*	300	75	250	70	—	—	—	—
$R_э$, *ком*	100	47	60	0	100	70	0	47

Примечание. U_{a0} — напряжение источника анодного питания; U_a — напряжение на аноде; $U_э$ — напряжение на экранной сетке; U_{c0} — напряжение сеточного смещения (при подаче его из общих цепей питания, т. е. когда отсутствует катодное сопротивление $R_к$).

4-3. Преобразователь частоты АМ

Преобразование частоты в супергетеродинном приемнике представляет собой процесс получения из двух колебаний колебания третьей — промежуточной — частоты. Лампа, в которой приходящие и местные колебания комбинируются, чтобы образовать промежуточную частоту, называется **смесителем**. Если к тому же смесительная лампа одновременно еще и генерирует местные колебания, то она называется **преобразователем**.

Смеситель. Обычно приходящие и местные колебания подводятся к разным сеткам одной и той же лампы (гептода). Включение такого двухсеточного смесителя показано на рис. 4-6.

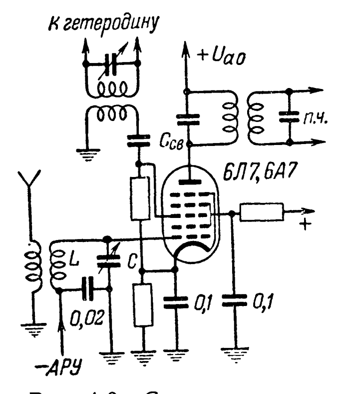


Рис. 4-6. Схема двухсеточного электронного смесителя.

Будем в дальнейшем называть сетку, на которую подается напряжение принимаемых сигналов, **управляющей**, а сетку, к которой подводится напряжение частоты гетеродина, — **гетеродинной**. Для двухсеточной лампы характерно, что анодно-сеточные характеристики по одной сетке (например, управляющей) зависят от напряжения на другой сетке (гетеродинной).

Подачей на управляющую и гетеродинную сетки напряжений смещения, например $U_{c0} = -3$ *в* и $U_{c02} = -8$ *в*, определяется исходная рабочая точка (*A* на рис. 4-7, *а*). Если на обе сетки подать еще переменные напряжения, то характер изменения анодного тока будет зависеть от разности фаз между напряжениями, приложенными к обеим сеткам.

Два такие случая (совпадение фаз и противоположные фазы) представлены на рис. 4-7, *б* и *в*. Здесь нанесены кривые *BC* и *DE*, по которым перемещается в каждом случае рабочая точка (динамические характеристики).

При работе смесителя на управляющую и гетеродинную сетки воздействуют напряжения различных частот. При этом фаза одного напряжения (более высокой частоты) все время опережает фазу другого напряжения (более низкой частоты). Разность фаз между колебаниями на обеих сетках меняется непрерывно и плавно и за время, пока одно напряжение опережает другое на целый период, процесс изобразится так, как это показано на рис. 4-7, *г*.

Из рис. 4-7, *г* видно, что кроме колебаний высокой частоты, в анодном токе появляются более медленные колебания среднего значения его (изображены штрих-пунктирной линией), причем один период этих колебаний происходит в промежуток времени, в который более высокая частота опередит на один целый период более низкую частоту, что соответствует разности частот этих колебаний. Другими словами, частота изменений средней составляю-

щей анодного тока равна разности между частотой гетеродина и частотой принимаемого сигнала. Эта частота называется **п р о м е ж у т о ч н о й ч а с т о т о й**.

Ток промежуточной частоты определяется формулой

$$I_п = S_{пр} U_с, \qquad (4\text{-}4)$$

где $U_с$ — напряжение на управляющей сетке;

$S_{пр}$ — так называемая **к р у т и з н а п р е о б р а з о в а н и я**.

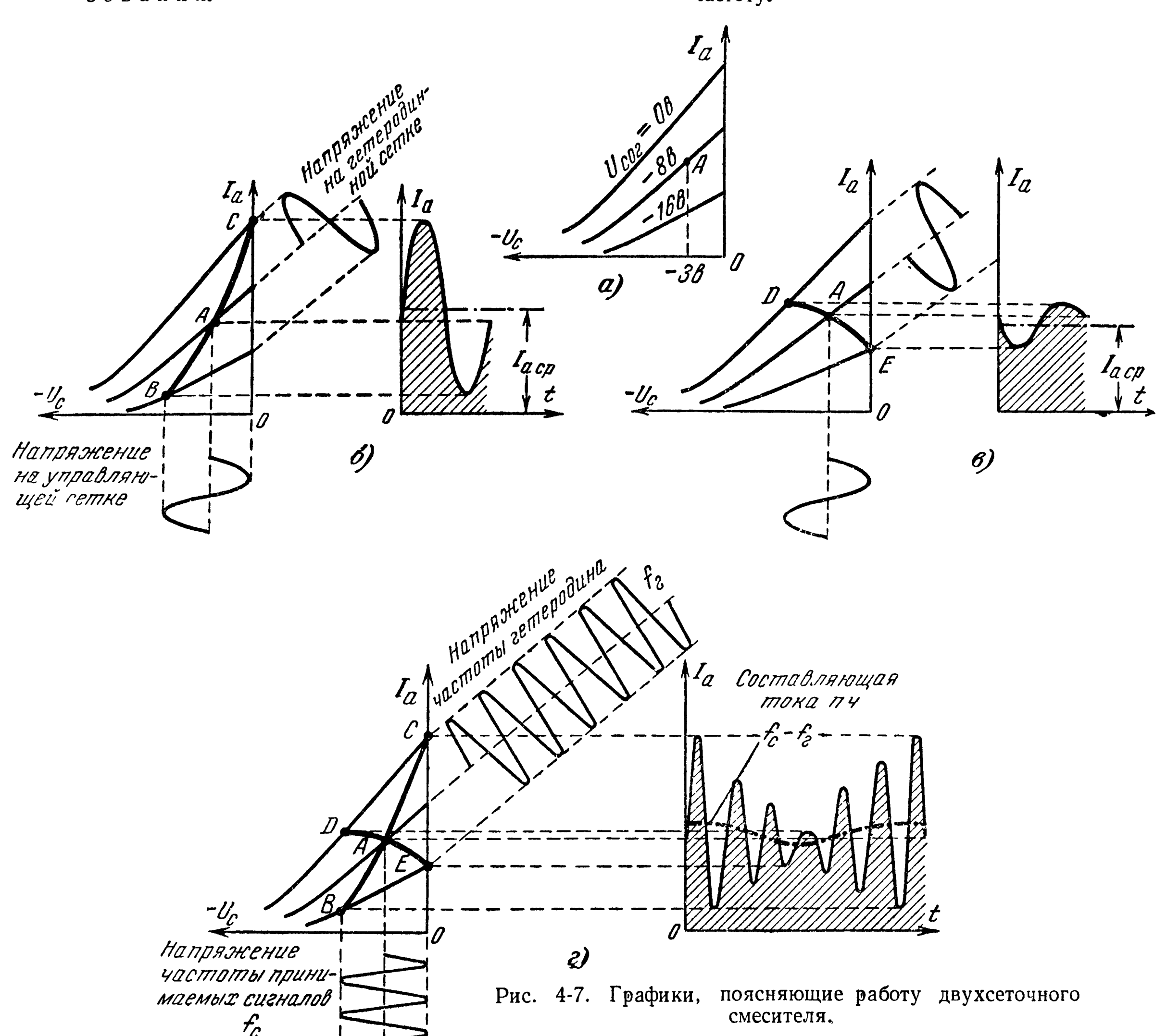


Рис. 4-7. Графики, поясняющие работу двухсеточного смесителя.

Крутизна преобразования зависит от разности крутизны статических характеристик, которые охватываются колебаниями гетеродина: чем больше крутизна характеристик и чем больше напряжение гетеродина, тем больше $S_{пр}$. Можно принять, что

$$S_{пр} \approx 0{,}25\, S_{макс},$$

где $S_{макс}$ — наибольшее значение статической крутизны захватываемых гетеродинным напряжением характеристик.

Усиление промежуточной частоты в преобразовательном каскаде определяется формулой

$$K = S_{пр} Z_а, \qquad (4\text{-}5)$$

где $Z_а$ — сопротивление нагрузочного анодного контура или фильтра, настроенного на промежуточную частоту.

Из приведенных соображений видно, что усиление преобразователя зависит от напряжения гетеродина и при малой величине последнего может значительно упасть.

Анодная нагрузка. Из рис. 4-7, *в* видно, что анодный ток смесителя имеет очень сложную форму. Анализ этой формы показывает, что наиболее сильно будут проявляться в анодной цепи колебания с частотой принимаемых сигналов, с частотой гетеродина и суммы и разности частот сигнала и гетеродина. Для того, чтобы не нагружать следующий за смесителем усилитель промежуточной частоты колебаниями всех этих частот в качестве анодного нагрузочного сопротивления смесителя применяют колебательный контур или лучше связанную систему, настроенную на промежуточную частоту супергетеродина. Связанная

система (полосовой фильтр) позволяет выбором надлежащего коэффициента связи получить наиболее благоприятную для выделения колебаний промежуточной частоты форму резонансной кривой.

Гетеродин. *Требования, предъявляемые к гетеродину.* В качестве гетеродина может работать любая из схем высокочастотных генераторов. К гетеродину предъявляются три основных требования: 1) частота его колебаний должна отличаться от резонансной частоты входных высокочастотных контуров на величину промежуточной частоты; 2) возможно более высокая стабильность частоты при изменении питающих напряжений и температуры; 3) амплитуда колебаний должна быть по возможности неизменной и достаточной для эффективной работы смесителя.

Первое требование удовлетворяется сопряженной настройкой колебательного контура гетеродина и входных контуров высокой частоты. Стабильность частоты

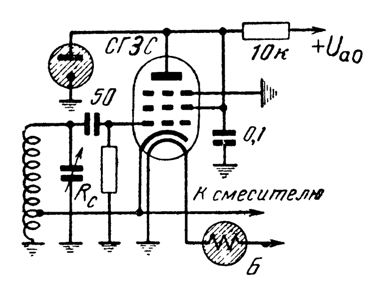


Рис. 4-8. Полная схема гетеродина по трехточечной схеме со стабилизацией.

СГ3С —стабилитрон стабилизатор анодного напряжения; *Б* — бареттер для стабилизации тока накала ламп.

и амплитуды колебаний достигается выбором соответствующего рабочего режима гетеродинной лампы, рациональным монтажом схемы, тщательным выбором деталей электрической схемы и чисто конструктивных деталей, главным образом изолирующих (ламповая панелька, каркасы катушек, плата переключателя и т. п.).

Вопросы, касающиеся выбора деталей и монтажа, рассматриваются в гл. 9, здесь же мы остановимся на свойствах различных схем гетеродинов и общих принципах, определяющих качество работы гетеродина.

Из простых схем гетеродинов наибольшей стабильностью частоты при колебании питающих напряжений обладает так называемая трехточечная схема с индуктивной связью. Чтобы уменьшить колебания питающих напряжений, в особо ответственных случаях, питание гетеродина можно стабилизировать стабилитроном (анодное напряжение) и бареттером (ток накала). Применительно к радиоприемникам с одноручечным управлением, где ротор конденсатора переменной емкости заземлен, трехточечная схема с индуктивной связью и стабилизаторами осуществима в виде, изображенном на рис. 4-8.

Из других схем с индуктивной обратной связью лучшие результаты дает схема с настроенным контуром в цепи анода, чем с контуром в цепи сетки.

Режим лампы. Установлено, что стабильность генератора по частоте и амплитуде тем выше, чем меньше потери в его колебательном контуре, т. е. больше его добротность. Поэтому на качество деталей колебательного контура должно быть обращено особое внимание.

Стабильность гетеродина повышается и с уменьшением его мощности (так как при этом уменьшается нагрев деталей контура и самой лампы) и при понижении питающих гетеродин напряжений.

Снижение питающих напряжений способствует также ослаблению гармоник в составе генерируемых колебаний и связанных с ними свистов.

В пределах каждого диапазона наблюдается, хотя и незначительное, изменение добротности контура. Значительно больше изменяется добротность контура при переходе с одного диапазона на другой при замене одной катушки другой. В связи с этим всегда имеет место некоторое изменение амплитуды генерируемых гетеродином колебаний при перестройке приемника.

Первой мерой стабилизации амплитуды колебаний по диапазону, которая почти всегда применяется в гетеродине, является задание смещения на управляющей сетке с помощью сопротивления утечки сетки. Напряжение, создаваемое на сопротивлении утечки сетки, пропорционально амплитуде колебаний, поэтому увеличение их амплитуды приводит к увеличению отрицательного смещения, что, в свою очередь, ослабляет обратную связь и заставляет уменьшаться амплитуду колебаний в контуре.

Другой мерой, эффективной на длинных волнах, является устройство комбинированной индуктивно-емкостной обратной связи (рис. 4-9). Добротность контура уменьшается к концу диапазона (на низших частотах). Поэтому обычно в конце диапазона уменьшается и амплитуда колебаний. Но емкостное сопротивление конденсатора связи $C_{св}$ с понижением частоты увеличивается и, следовательно, напряжение обратной связи на нем возрастает, поддерживая убывающую амплитуду колебаний в контуре. В качестве конденсатора связи $C_{св}$ используется сопрягающий последовательный конденсатор.

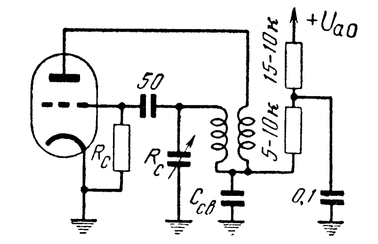


Рис. 4-9. Гетеродин с комбинированной индуктивно-емкостной обратной связью.

На стабильность как частоты, так и амплитуды оказывает большое влияние величина сопротивления утечки сетки R_c. Чем больше R_c, тем стабильнее работает гетеродин. Но при чрезмерном увеличении R_c возникает прерывистая генерация. Поэтому для каждой лампы существует

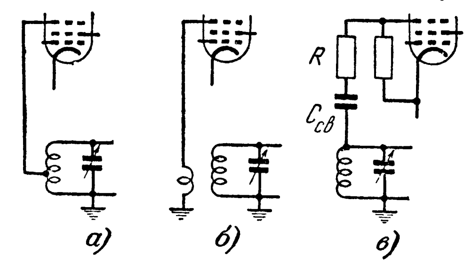


Рис. 4-10. Схемы связи гетеродина со смесителем.

наивыгоднейшее значение R_c в схеме гетеродина, указываемое в таблицах реукомендуемых режимов. Для сетевых ламп R_c не превышает 0,1 *Мом*, а для батарейных оно достигает 0,2—0,3 *Мом*.

Связь со смесителем. Элементы связи гетеродина со смесителем должны решать две задачи: 1) подачу на смеситель колебаний необходимой амплитуды и 2) обеспечение возможно меньшего обратного влияния режима работы смесителя на работу гетеродина. Так как амплитуда колебаний гетеродина обычно превосходит необходимое для гетеродинной сетки смесителя напряжение, то это позволяет применить относительно слабую связь между гетеродином и смесителем и тем самым удовлетворить второе требование. Практически это выполняется присоединением гетеродинной сетки смесителя к небольшой части витков контурной катушки гетеродина (рис. 4-10, *а*), применением индуктивной связи с гетеродином (рис. 4-10, *б*) или схемой реостат-

по-емкостной связи (рис. 4-10, *в*), на которой мы остановимся особо.

Включение в цепь связи небольшого последовательного сопротивления R в определенной мере ослабляет влияние на контур гетеродина междуэлектродной емкости смесителя, которая изменяется при его работе, и тем самым может заметно изменять частоту гетеродина. Кроме того, образуя вместе с междуэлектродной емкостью $C_{с.\ к}$ (емкость сетка — катод) смесителя реостатно-емкостный делитель, оно, во-первых, ослабляет амплитуду колебаний на гетеродинной сетке в начале каждого диапазона, компенсируя этим свойственное гетеродину повышение генерируемого напряжения на этом участке, и, во-вторых, снижает напряжение гармоник, поступающих к смесителю от гетеродина, и этим в большой мере ослабляет помехи, создаваемые свистами. Величину сопротивления R лучше всего подбирать практически; обычно оно выбирается порядка 50—300 *ом*. Емкость $C_{св}$ должна быть возможно меньшей (5—20 *пф*).

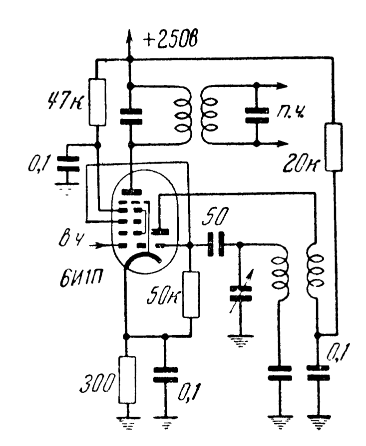


Рис 4-11. Схема преобразователя с комбинированной лампой.

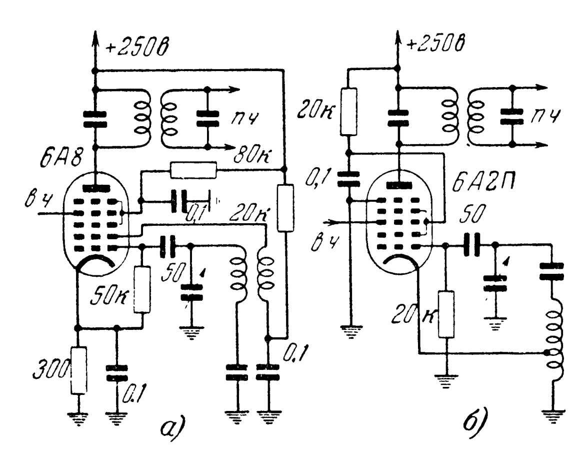


Рис. 4-12. Схемы преобразователей на гептодах.

Одноламповый преобразователь частоты. Одноламповое преобразование частоты осуществляется с помощью специальных ламп, выполняющих одновременно функции смесителя и гетеродина. Хотя оно и уступает в отношении стабильности частоты схеме с отдельным гетеродином, но тем не менее широко применяется в целях удешевления конструкции.

Преобразование частоты на сдвоенной лампе (рис. 4-11). Для этой цели применяют специальные комбинированные лампы: триод-гексоды, триод-гептоды и триод-пентоды. Преобразователь на триод-гексоде работает несколько хуже, чем на двух самостоятельных лампах, потому что связь между гетеродином и смесителем определена конструкцией лампы, где управляющая сетка триода соединена с гетеродинной сеткой гексода внутри баллона. Однако, включая гетеродинный контур, в анодную цепь триода, удается несколько ослабить влияние смесительной части лампы на гетеродинную.

Преобразователи на гептодах. Две разновидности гептодов, предназначенных для однолампового преобразования частоты, представляют, с одной стороны, лампы 6А8 и СО-242, а с другой — 6А7, 6А2П, 1А1П и 1А2П. Первые две снабжены гетеродинной сеткой (ближайшая к катоду), вслед за которой помещены: электрод (обозначаемый на схемах в виде сетки), выполняющий роль анода гетеродина, и отделенная от анода гетеродина и от главного анода двумя экранирующими сетками управляющая сетка, на которую подаются принимаемые колебания. У гептодов второй группы специальный электрод, выполняющий роль анода гетеродина, отсутствует; эту функцию здесь выполняет экранирующая сетка, но за счет этого перед главным анодом этих ламп помещена защитная сетка.

У всех перечисленных ламп катод вместе с первыми двумя сетками надо рассматривать как трехэлектродную лампу, способную работать в качестве гетеродина по той или иной схеме. У ламп 6А8 и СО-242 эта часть электродов может работать в любой генераторной схеме, хотя обычно отдают предпочтение схеме с индуктивной обратной связью (рис. 4-12, *а*).

У гептодов, у которых в качестве анода гетеродина используется экранирующая сетка (вторая сетка от катода), последняя не должна находиться под переменным напряжением, так как тогда она потеряет экранирующее действие. Поэтому гетеродинная часть этих ламп включается по трехточечной схеме с индуктивной обратной связью в цепи катода (рис. 4-12, *б*).

Как указывалось, трехточечной схеме, свойственна более высокая стабильность работы. Поэтому, а также в связи с более совершенной конструкцией ламп 6А7, 6А2П, 1А1П и 1А2П преобразователи, собираемые по схеме на рис. 4-12, *б*, работают устойчивее, создают меньше свистов и генерируют на более высоких частотах, чем преобразователи на лампах 6А8 и СО-242.

Для схем однолампового преобразования частоты на гептодах выбор сопротивления утечки сетки и рабочего режима предопределен типовыми табличными данными, и отклонение от этих данных приводит к ухудшению работы преобразователя. Для повышения стабильности гетеродина можно снизить (в ущерб усилению) напряжения на экранирующих сетках и анодах до 70—100 *в*.

4-4. Блок УКВ

На частотах УКВ диапазона очень сильно сказываются паразитные индуктивности и емкости проводников даже относительно малых размеров. Поэтому входные цепи, усилитель высокой частоты и преобразователь частоты УКВ диапазона принято выполнять в виде отдельного блока, монтаж которого тщательно продумывается.

Многоэлектродные лампы (пентоды, гептоды) из-за повышенного уровня шумов и склонности к самовозбуждению, вызываемому паразитными связями цепей вспомогательных электродов, теряют свои преимущества на частотах УКВ диапазона. В настоящее время преобладающее распространение получили УКВ блоки, осуществляемые на двойном триоде, причем один триод используется в качестве усилителя высокой частоты, а второй — в качестве односеточного преобразователя частоты.

Входные цепи УКВ диапазона. В качестве антенн УКВ диапазона применяются симметричные вибраторы и симметричные шлейфные антенны, связываемые с входным колебательным контуром индуктивно. Для сохранения симметрии катушка связи либо не имеет соединения с землей, либо заземляется ее средняя точка (рис. 4-13, *а*, *б*).

Во многих радиовещательных приемниках устраивается небольшая внутренняя шлейфная антенна УКВ диапазона из полоски станиоля, наклеиваемой с внутренней стороны задней крышки. Такая антенна может применяться и для приема наиболее мощных станций и на других диапазонах, для чего ее выгоднее включать не как рамочную антенну, а как одиночный проводник. При этом в качестве антенны АМ тракта используют отвод от середины катушки связи УКВ тракта (рис. 4-13, *в*). При подключении в гнездо $А_{ам}$ внешней антенны УКВ антенна автоматически отключается от АМ тракта.

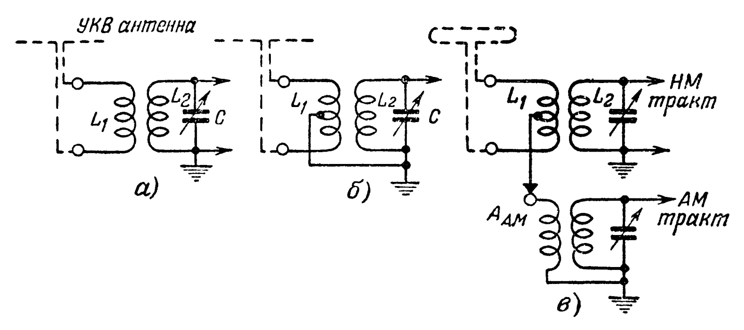


Рис. 4-13. Входные цепи УКВ диапазона.

Усилитель высокой частоты. Обычный усилитель высокой частоты (см. рис. 4-5) на трехэлектродной лампе в УКВ диапазоне не может устойчиво работать из-за большой проходной емкости (анод—сетка) лампы. Поэтому здесь применяют особые схемы усилителей: с заземленной сеткой (рис. 4-14, *а*) или с промежуточной заземленной точкой (рис. 4-14, *б*). В схеме на рис. 4-14, *а* усиливаемый сигнал, как обычно, прикладывается к промежутку сетка—катод, но заземляется не катод, а управляющая сетка лампы. При этом выходной электрод лампы (анод) экранируется от входного (катода) самой управляющей сеткой. Для предотвращения паразитных связей по цепям накала, имеющим большую емкость относительно катода, в цепь питания нити накала, как правило, вводят фильтр (L_3, L_4, C_3, C_4), а схему включения второго триода выбирают так, чтобы его катод был заземлен.

Цепь R_1C_2 является обычной цепью автоматического смещения, обеспечивающей необходимое отрицательное смещение на управляющую сетку, а цепь R_2C_6 — развязывающим фильтром.

Входное сопротивление лампы, включенной по схеме с заземленной сеткой получается небольшим даже на низких частотах: порядка $1/S$, где S — крутизна анодно-сеточной характеристики, т. е. 200—300 *ом*. Для предотвращения излишнего шунтирования входного колебательного контура низким входным сопротивлением лампы, прибегают к автотрансформаторной связи лампы с контуром при помощи отвода от катушки L_2.

Эта мера приводит к снижению коэффициента передачи входной цепи. Несколько повысить его удается в схеме с промежуточной заземленной точкой (рис. 4-14, *б*), в которой сигнал в противофазе подается одновременно на катод и на управляющую сетку лампы. Эта схема является промежуточной между схемой усилителя с заземленным катодом (см. рис. 4-5) и с заземленной сеткой (рис. 4-14, *а*). Поскольку управляющая сетка здесь не сообщается с «землей», то междуэлектродная емкость лампы анод—сетка может привести к самовозбуждению. Для его предотвращения в схему вводится специальный нейтрализующий паразитную обратную связь конденсатор C_7.

Как показано на эквивалентной схеме усилителя с промежуточной заземленной точкой (рис. 4-15), емкость анод— сетка $C_{а.\,с}$ и нейтрализующий конденсатор C_7 вместе с плечами входного колебательного контура L_2' и L_2'' образуют мост, причем выходной контур L_5C_5 оказывается включенным в диагональ этого моста. Таким образом при правильном выборе емкости C_7, соответствующем условию баланса, можно предотвратить взаимную связь входного и выходного колебательных контуров.

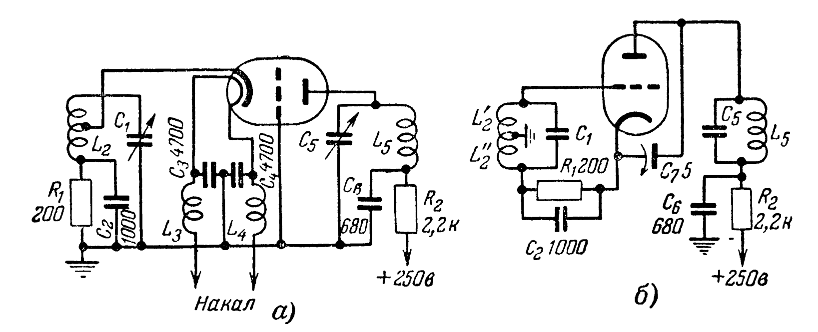


Рис. 4-14. Схемы усилителей высокой частоты УКВ диапазона на триодах.

а — с заземленной сеткой; *б* — с промежуточной заземленной точкой.

Рис. 4-15. Эквивалентная схема моста, нейтрализующего проходную емкость в усилителе по схеме на рис. 4-14, *б*.

а — точка подключения анода лампы преобразователя частоты, *к* — то же катода; *с* — то же сетки; *з* — заземленная точка.

Односеточный преобразователь частоты представляет собой генератор высокой частоты (гетеродин), причем в цепь управляющей сетки лампы гетеродина вводится еще принимаемый сигнал, а в анодную цепь — колебательный контур, настроенный на промежуточную частоту.

Колебательный контур гетеродина УКВ диапазона (на рис. 4-16 и 4-18 — L_7C_9) чаще всего вводится в анодную цепь лампы, где он шунтируется меньшей и более стабильной междуэлектродной емкостью анод—катод, а катушка обратной связи (L_6) — в цепь управляющей сетки.

Для предотвращения взаимного влияния цепей усилителя высокой частоты и гетеродина и для ослабления передачи колебаний гетеродина в антенную цепь, где их излучение создает помехи другим приемникам, применяются

специальные схемы введения в преобразователь высокочастотного сигнала.

На рис. 4-16 приведена принципиальная схема односеточного преобразователя частоты с индуктивным делителем. Она применяется в тех случаях, когда настройка колебательных контуров осуществляется при помощи блока конденсаторов переменной емкости. Сигнал из колебательного контура усилителя высокой частоты (L_5/C_5) вводится в цепь управляющей сетки преобразователя через конденсатор C_8 и отвод от средины катушки обратной связи гетеродина L_6. Две половины этой катушки вместе с входной емкостью лампы гетеродина $C_{с.\,к}$ и подстроечным конденсатором C_{10} образуют мост (рис. 4-17, *а*), предотвращающий обратную передачу колебаний гетеродина в усилитель высокой частоты.

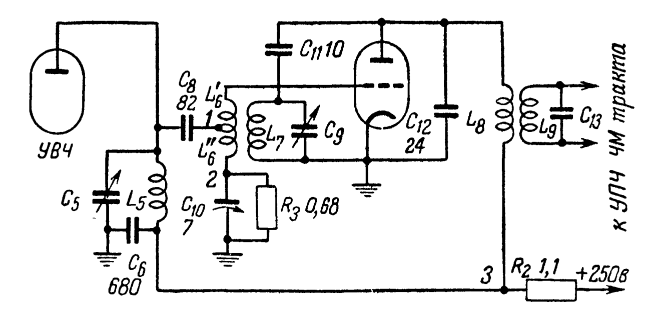


Рис. 4-16. Принципиальная схема односеточного преобразователя частоты с емкостной настройкой и индуктивным делителем.

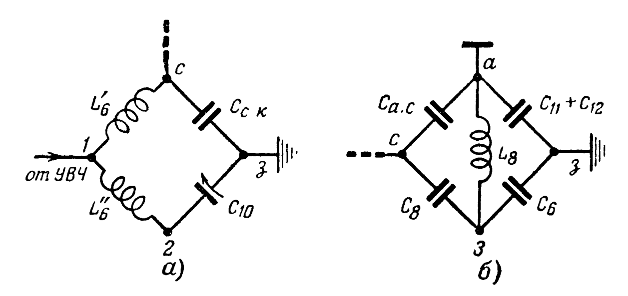


Рис. 4-17. Эквивалентные схемы мостов в преобразователе частоты по схеме, на рис. 4-16.

а — мост, нейтрализующий связь гетеродина с усилителем высокой частоты; *б* — мост, нейтрализующий проходную емкость на промежуточной частоте.

Напряжение обратной связи, наводимое в катушке L_6, оказывается приложенным как бы к диагонали *с* — *2* моста на рис. 4-17, *а*. При балансе моста ($L_6' = L_6''$, $C_{с.\,к} = C_{10}$) в другой диагонали *1* — *з* это напряжение будет отсутствовать. Но именно в эту диагональ включена выходная цепь усилителя высокой частоты. Сопротивление R_3, шунтирующее конденсатор C_{10}, не показано на рис. 4-17, *а*, потому, что оно выбирается достаточно высокоомным и не влияет на условия баланса моста.

Таким образом предотвращается проникновение колебаний гетеродина в усилитель высокой частоты и влияние цепей последнего на настройку гетеродина.

Второй мост (рис. 4-17, *б*) создается для нейтрализации проходной емкости анод—сетка, могущей вызвать самовозбуждение на промежуточной частоте.

Эквивалентная схема, приведенная на рис. 4-17, *б*, также упрощена: колебательные контуры L_7C_9 и L_5C_5, а также катушка обратной связи гетеродина L_6 заменена в ней прямыми проводниками, потому что полное сопротивление этих цепей для токов достаточно низкой промежуточной частоты весьма мало (собственные частоты этих контуров составляют 60—80 *Мгц*, а промежуточная частота УКВ тракта — 8,4 *Мгц*). Из схемы на рис. 4-17, *б* видно, что напряжение промежуточной частоты, действующее на концах катушки L_8, оказывается введенным в диагональ *а* — *3* моста, а входные электроды лампы сетка—катод, подключены к другой диагонали *с* — *з* этого же моста. Таким образом, обеспечивая баланс моста, можно предотвратить паразитную обратную связь по промежуточной частоте.

Заметим, что условие баланса моста в схеме на рис. 4-17, *б* зависит от емкости конденсатора C_6, который для высокой частоты является просто развязывающим.

На рис. 4-18 приведена принципиальная схема другого распространенного варианта односеточного преобразователя частоты — с емкостным делителем, который применяется в случаях, когда настройка контуров осуществляется путем изменения индуктивности катушек. В этой схеме также можно обнаружить два моста: предотвращающий передачу сигнала гетеродина в цепи усилителя высокой частоты и нейтрализующий проходную емкость на промежуточной частоте (рис. 4-19).

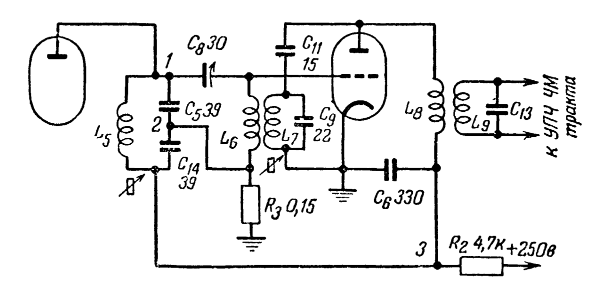


Рис. 4-18. Принципиальная схема односеточного преобразователя с индуктивной настройкой и емкостным делителем.

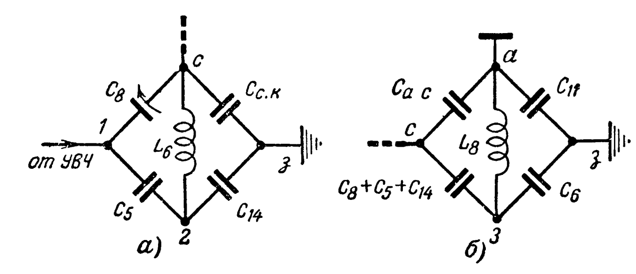


Рис. 4-19. Эквивалентные схемы мостов в преобразователе частоты по схеме на рис. 4-18.

а — мост, нейтрализующий связь гетеродина с усилителем высокой частоты; *б* — мост, нейтрализующий проходную емкость на промежуточной частоте.

Типичные значения сопротивлений и емкостей конденсаторов описанных схем при использовании в них двойного триода типа 6Н3П приведены на рис. 4-14, 4-16 и 4-18.

4-5. Усилитель промежуточной частоты

Полосовой усилитель АМ тракта. В качестве усилителя промежуточной частоты чаще всего применяется усилитель с полосовым фильтром (рис. 4-20). На практике наиболее распространены полосовые фильтры из двух

индуктивно связанных колебательных контуров. Подстройка контуров обычно осуществляется высокочастотными сердечниками. Связь между контурами можно изменить, раздвинув или сблизив катушки, что в некоторых полосовых фильтрах умышленно предусматривается для регулирования связи в целях изменения ширины полосы пропускаемых частот (рис. 4-21, *а*).

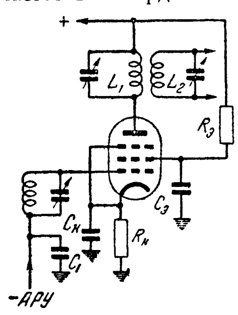
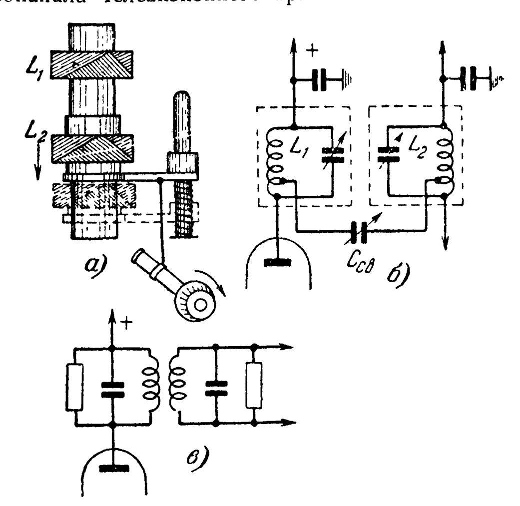


Рис. 4-20. Схема усилителя промежуточной частоты с полосовым фильтром (данные схемы см. в табл. 4-3 и 4-4).

С этой же целью применяют иногда полосовые фильтры с емкостной связью, в которых степень связи регулируется изменением емкости конденсатора $C_{св}$, осуществляющего связь между двумя экранированными друг от друга колебательными контурами (рис. 4-21, *б*).

Расширение полосы пропускаемых частот может быть достигнуто также путем увеличения затухания контуров, для чего достаточно шунтировать их сопротивлениями (рис. 4-21, *в*). Этот способ применяют, например, в усилителях промежуточной частоты видеоканала телевизионного приемника.



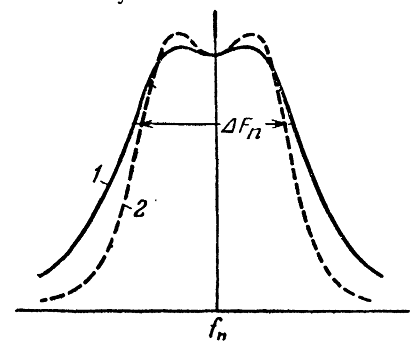


Рис. 4-21. Методы регулирования в усилителях промежуточной частоты полосы пропускаемых частот.

Рис. 4-22. Кривые избирательности усилителя промежуточной частоты с полосовыми фильтрами.

1 — одного каскада; *2* — двух каскадов.

Вообще ширина полосы пропускаемых частот прямо пропорциональна величине промежуточной частоты, обратно пропорциональна добротности контуров и кроме того зависит от коэффициента связи.

В однокаскадном усилителе полоса пропускаемых им частот равна полосе частот, пропускаемых включенным в анодную цепь полосовым фильтром. При увеличении числа каскадов эта полоса $\Delta F_п$ несколько сужается, но еще в большей мере возрастает избирательность по соседним частотам, лежащим выше и ниже полосы $\Delta F_п$, так как становятся все более крутыми срезы резонансной кривой на крайних частотах (рис. 4-22).

Коэффициент усиления усилителей с полосовыми фильтрами зависит от степени связи контуров и в радиовещательных приемниках он составляет 0,4—0,5 значения, рассчитанного по формуле (4-1), если в качестве $Z_а$ подставить резонансное сопротивление первого контура, вычисленное в отсутствии второго контура по формуле (3-67) или (3-66б).

Резонансный усилитель с одиночным контуром. Одноконтурный усилитель (рис. 4-23) обладает тем преимуществом в сравнении с полосовым, что он дает несколько большее усиление. Поэтому он находит применение в батарейных приемниках, в дешевых сетевых, а также в приемниках, снабженных малочувствительной антенной (рамочной, ферритовой или штыревой), где необходимо особенно большое усиление. Однако избирательность и равномерность усиления боковых частот у него меньше, чем у усилителя с полосовым фильтром.

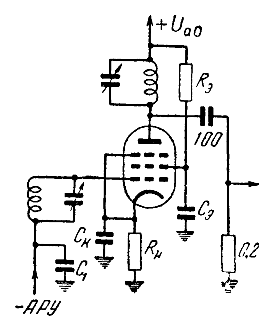


Рис. 4-23. Одноконтурный усилитель промежуточной частоты (данные схемы см. в табл. 4-3 и 4-4).

Увеличение числа каскадов с одиночными контурами (если не создать искусственного затухания или не расстроить их один относительно другого) приводит к резкому сужению полосы частот, что в радиовещательных приемниках нежелательно. Кроме того, случайная расстройка одного из контуров, например при смене ламп, в одноконтурном усилителе оказывает значительно большее влияние на резонансную кривую усилителя в целом, чем при применении полосовых фильтров.

Комбинированный усилитель промежуточной частоты АМ-ЧМ. Во всех современных радиовещательных приемниках, снабженных УКВ диапазоном, применяется комбинированный усилитель промежуточной частоты с двумя комплектами колебательных контуров, обеспечивающими усиление как АМ сигналов, так и ЧМ сигналов. Лампы же и цепи их питания остаются в обоих случаях одни и те же. Колебательные контуры, настроенные на промежуточные частоты АМ тракта и ЧМ тракта, вводятся последовательно (рис. 4-24).

Для предотвращения помех на неиспользуемой промежуточной частоте при приеме АМ станций замыкается один из контуров ЧМ тракта, а при приеме ЧМ станций — один из контуров АМ — тракта.

Полоса частот при ЧМ, определяемая максимальной девиацией частоты передатчика, стандартизована и при приеме должна быть сохранена, во избежание нелинейных искажений на пиках громкости. Поэтому в отличие от АМ тракта полосовые фильтры ЧМ тракта никогда не снабжаются органами регулировки полосы пропускаемых частот.

Большая разница в значениях промежуточных частот АМ и ЧМ трактов обеспечивает отсутствие взаимного влияния колебательных контуров этих двух трактов и делает их настройку взаимонезависимой.

Коммутация входа комбинированного усилителя промежуточной частоты обычно осуществляется одним из двух следующих способов. Первый способ состоит в переключении управляющей сетки первой лампы усилителя промежуточной частоты на выход либо преобразователя частоты АМ — тракта, либо преобразователя ЧМ — тракта. Другой способ предусматривает использование в качестве дополнительного каскада усиления промежуточной частоты ЧМ тракта лампы, работающей при приеме

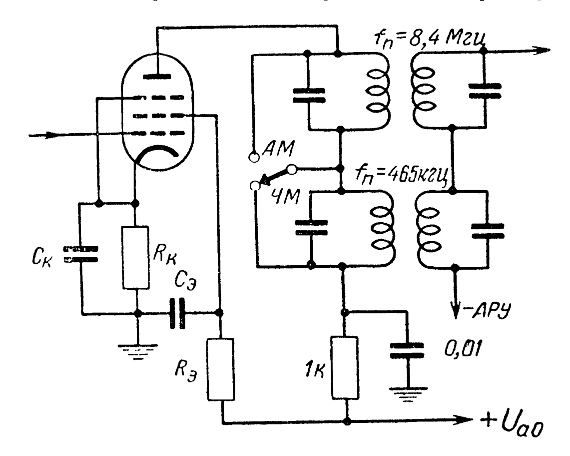


Рис. 4-24. Принципиальная схема комбинированного каскада усиления промежуточной частоты АМ—ЧМ.

АМ сигналов в качестве преобразователя (или смесителя) частоты. При этом переход на прием ЧМ сигналов осуществляется выключением гетеродина АМ тракта и подключением управляющей сетки лампы преобразователя частоты АМ тракта к выходу преобразователя частоты ЧМ тракта.

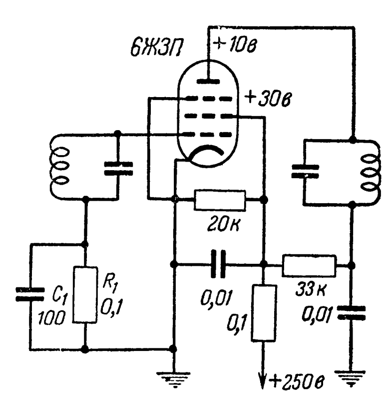


Рис. 4-25. Усилитель промежуточной частоты с ограничением.

Последний вариант позволяет получить большее усиление по промежуточной частоте при приеме ЧМ сигналов, что содействует достижению высокой чувствительности в диапазоне УКВ.

В любом варианте при приеме АМ сигналов предусматривается автоматическое выключение питания анодных цепей ламп УКВ блока.

Для предотвращения искажений, обусловленных паразитной амплитудной модуляцией, а также для снижения помех при приеме ЧМ сигналов в ЧМ тракте часто предусматриваются особые схемы, подавляющие амплитудную модуляцию. Кроме мер подавления АМ при детектировании (о них идет речь ниже), часто вводят в усилитель промежуточной частоты ограничители амплитуды.

Ограничение создают в последнем каскаде усилителя, так как этот процесс нелинейный и для его осуществления необходим достаточно сильный сигнал. Наиболее распространено ограничение с помощью пентода, работающего при весьма низком анодном напряжении (3—15 *в*) и пониженном, но в меньшей мере, напряжении экранирующей сетки (25—40 *в*). В таком режиме линейный участок анодно-сеточной характеристики оказывается весьма малым и каскад сильно перегружается при напряжении входного сигнала порядка 1—2 *в*. Для улучшения ограничительных свойств смещение на управляющую сетку создается самим приходящим сигналом за счет вызываемого им сеточного тока при помощи цепочки R_1, C_1 (рис. 4-25). Выходное напряжение такой схемы остается практически неизменным при любых уровнях сигналов выше 2—3 *в*.

4-6. Детектор АМ

Диодный детектор. Принцип действия диодного детектора АМ колебаний был рассмотрен выше (стр. 61). Там же были приведены две основные схемы диодных детекторов: параллельная (рис. 3-58, *в*) и последовательная (рис. 3-58, *б*).

В качестве выпрямительных элементов диодных детекторов до недавнего времени применялись в основном двухэлектродные лампы (в ламповых приемниках) или кристаллические детекторы (в детекторных приемниках). В настоящее время кристаллический детектор в форме открытого кристалла и устанавливаемого на нем острия пружинки утратил свое значение в связи с появлением точечных германиевых и кремниевых диодов с постоянной рабочей точкой.

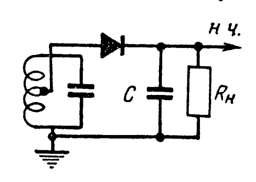


Рис. 4-26. Автотрансформаторная связь диодного детектора.

Точечные диоды являются не только прекрасной заменой кристаллических детекторов, но и находят все большее применение в ламповых приемниках вместо вакуумных диодов, а также успешно внедряются в измерительную аппаратуру. Германиевые точечные диоды обладают более высокой чувствительностью, чем кремниевые, поэтому их применение в качестве детекторов предпочтительнее.

При детектировании АМ сигналов, как это указывалось (стр. 61), большую роль играет правильный выбор элементов цепи нагрузки. Оптимальное значение постоянной времени ее (произведение $CR_н$ в схеме на рис. 3-58, *б* или $C_дR_н$ в схеме на рис. 3-58, *в*) имеет порядок $2\cdot10^{-5}$ *сек*.

Входное сопротивление диодного детектора при больших сигналах, обеспечивающих режим линейного детектирования, составляет $0{,}5R_н$ для схемы на рис. 3-58, *б* и $0{,}33R_н$ для схемы на рис. 3-58, *в*. Этим сопротивлением нагружается колебательный контур, к которому подключен детектор. Во избежание чрезмерного снижения добротности колебательного контура стараются применять возможно большие сопротивления нагрузки $R_н$ и в ряде случаев прибегают к автотрансформаторной связи детектора с колебательным контуром (рис. 4-26), что сопряжено, однако, с проигрышем в усилении.

Диодное детектирование обеспечивает наименьшие искажения, но обладает малой чувствительностью: для нормальной работы к диодному детектору должно подводиться высокочастотное напряжение не ниже 0,5 *в*. Поэтому диодный детектор применяется главным образом в супергетеродинных приемниках, где детектированию предшествует значительное усиление по промежуточной частоте.

Анодное детектирование. Более чувствительным является анодное детектирование, использующее рабочую точку в области нижнего изгиба сеточной характеристики триода или пентода (рис. 4-27, *а*). При таком выборе рабочей точки среднее значение анодного тока определяется почти исключительно его положительными полупериодами и изменяется со звуковой частотой. Для сглаживания высокочастотной составляющей служит блокировочный конденсатор $C_б$ (рис. 4-27, *б*).

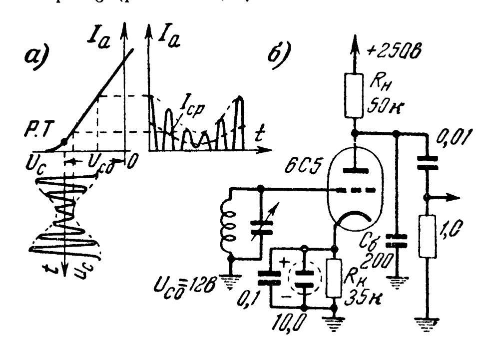


Рис. 4-27. Анодное детектирование.

а — принцип детектирования; *б* — схема детектора.

При анодном детектировании лампа не только детектирует, но и усиливает приходящие сигналы. При большом отрицательном напряжении на управляющей сетке лампа вносит минимальное затухание в сеточный контур. Этим анодное детектирование выгодно отличается от диодного и от сеточного (см. ниже).

Сеточное смещение может быть фиксированным (от отдельной батареи или от сопротивления, включенного в общую анодную цепь всех ламп), или автоматическим (за счет падения напряжения на сопротивлении в цепи катода детектора). Катод при наличии в его цепи сопротивления, а также экранная сетка лампы должны быть (для предотвращения выделения в их цепях напряжения низкой частоты) заземлены через конденсаторы большой емкости.

Анодный детектор удовлетворительно работает при напряжении сигнала от 0,1 *в* и выше.

Сеточный детектор. Наибольшей чувствительностью и пригодностью для детектирования слабых сигналов обладает сеточный детектор, представляющий по сути дела

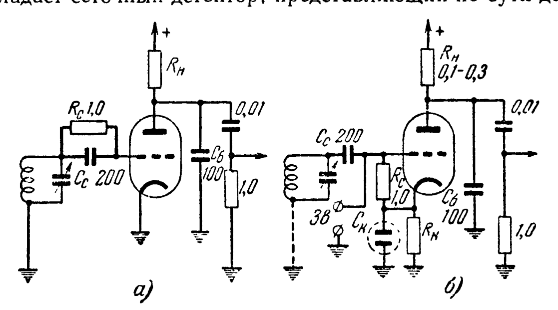


Рис. 4-28. Сеточный детектор.

сочетание диодного детектора и усилителя низкой частоты. Он реагирует на напряжения порядка сотых долей вольта. При больших детектируемых напряжениях он дает искажения.

Включенная в цепь сетки по схеме на рис. 4-28, *а* и *б* комбинация R_cC_c является нагрузочным сопротивлением, на которое работает промежуток сетка—катод в качестве диодного детектора. Выделенное на сопротивлении R_c напряжение низкой частоты оказывается приложенным к управляющей сетке лампы и усиливается ею.

Отрицательное смещение подавать на управляющую сетку сеточного детектора нельзя, ибо оно заперло бы диод, составленный сеткой—катодом, и детектирование прекратилось бы. Если по каким-либо соображениям, например для использования детекторной лампы в качестве усилителя низкой частоты при работе от звукоснимателя, все же необходимо включить в цепь катода сопротивление смещения, то сопротивление утечки сетки R_c должно присоединяться только по схеме на рис. 4-28, *б*, чтобы при работе лампы детектором напряжение смещения не попадало на сетку.

Сеточный детектор применяется преимущественно в приемниках прямого усиления.

Регенеративный детектор. Регенеративный детектор — это чаще всего сеточный детектор с введенной в его схему положительной обратной связью. Проникающая в нагру-

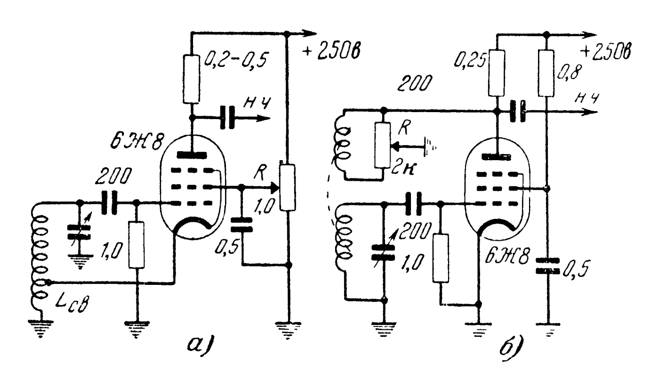


Рис. 4-29. Схемы регенеративных детекторов.

В схеме *б* регулирование связи осуществляется либо потенциометром *R*, либо изменением взаимного расположения катушек (пунктирная стрелка).

зочное сопротивление детектора высокочастотная составляющая колебаний при возвращении ее в цепь сетки с фазой, совпадающей с фазой первоначально приложенного к сетке переменного напряжения, увеличивает чувствительность детектора и этим вызывает эффект, соответствующий увеличению усиления.

Если обратную связь довести почти до порога генерации, то наблюдается очень резкое увеличение усиления. Хорошо налаженный регенеративный детектор дает усиление в несколько сот раз и воспринимает сигналы с амплитудой менее 1 *мв*.

Лучшими схемами регенеративных детекторов считаются те, которые обеспечивают плавный подход к порогу генерации, например схемы на рис. 4-29. Более плавное регулирование обратной связи всегда получается при невысоких напряжениях на аноде и экранирующей сетке лампы.

Пользование обратной связью требует известной осмотрительности, так как, самовозбудившись, регенеративный детектор создает для близрасположенных радиоприемников сильные помехи в виде свистов.

Гетеродинный детектор. Гетеродинный детектор служит для приема на слух незатухающих (не модулированных) телеграфных сигналов.

Одна из схем гетеродинного детектирования представлена на рис. 4-30. Из колебательного контура L_1C_1 к диодному детектору подаются незатухающие телеграфные колебания частоты f_1. К тому же детектору подводятся колебания частоты f_2, на которую настроен колебательный контур L_2C_2 гетеродина. В результате последовательного

соединения контура L_1C_1 и части витков катушки L_2 напряжения обеих частот смешиваются и образуют биения, которые после детектирования дадут колебания с часто-

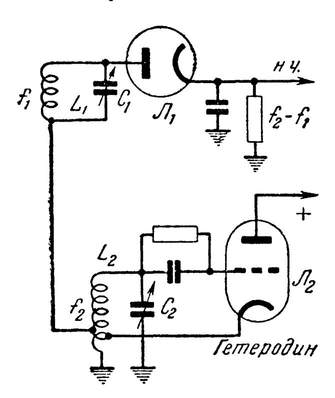


Рис. 4-30. Гетеродинный детектор.

той $f_2 - f_1$. Если эта разность частот будет низкой (звуковой), то она может быть воспроизведена громкоговорителем или телефонными трубками.

4-7. Детектор ЧМ

Детектирование ЧМ колебаний производится путем преобразования их в АМ колебания с тем же законом модуляции и обычного детектирования последних. Однако оба процесса во многих схемах детекторов ЧМ настолько переплетаются, что не всегда удается разделить схему на две части с явно очерченными функциями. Тем не менее следует помнить, что первая задача (преобразование ЧМ в АМ) решается с помощью линейных цепей (специальных комбинаций колебательных контуров), а вторая задача, как и в приемниках АМ колебаний, является нелинейной и решается с помощью диодов или электронных ламп.

К настоящему времени появилось большое количество схем детекторов ЧМ и мы рассмотрим только наиболее известные.

Дискриминатор с расстроенными контурами (рис. 4-31). В этой схеме последний фильтр промежуточной

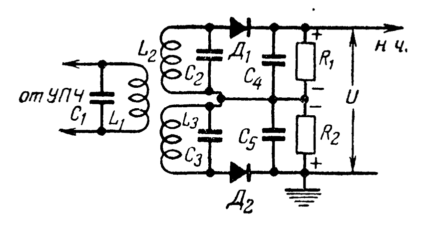


Рис. 4-31. Принципиальная схема дискриминатора с расстроенными колебательными контурами.

частоты состоит из трех колебательных контуров, причем первичный контур (L_1C_1) настраивается, как обычно, в резонанс на промежуточную частоту $f_п$ приемника, вторичные контуры (L_2C_2 и L_3C_3) несколько расстраиваются в противоположные стороны ($f_п + \Delta f$ и $f_п - \Delta f$, где Δf — выбирается больше максимальной девиации частоты передатчика ЧМ).

Диоды $Д_1$ и $Д_2$ включены так, что выпрямляемые на их нагрузках (R_1, C_4 и R_2, C_5) напряжения вычитаются одно из другого. Поэтому на рис. 4-32 резонансные кривые вторичных контуров изображены не только сдвинутыми относительно частоты $f_п$, но и перевернутыми относительно горизонтальной оси. Сплошной линией изображена амплитудно-частотная характеристика дискриминатора, равная разности резонансных кривых контуров L_2C_2 и L_3C_3. При строгой симметрии схемы и правильной настройке контуров эта характеристика проходит через нуль при частоте $f_п$ и имеет прямолинейный участок $АБ$.

Если принимается немодулированная несущая частота, то выходное напряжение дискриминатора равно нулю, поскольку на каждый из диодов поступает одинаковое напряжение, а после выпрямления напряжения вычи-

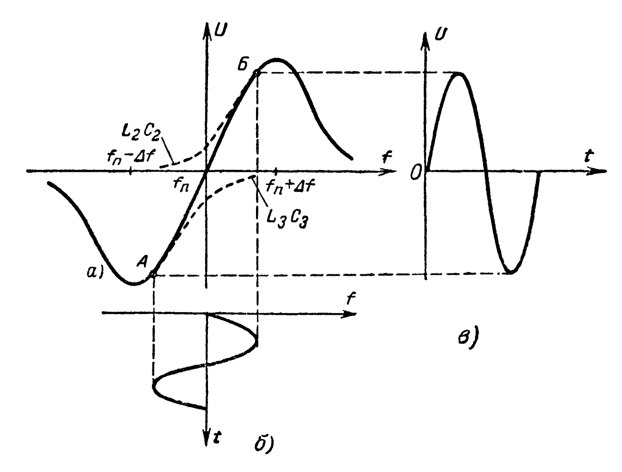


Рис. 4-32. Графики, поясняющие работу дискриминатора по схеме на рис. 4-31.

а — резонансные кривые колебательных контуров; *б* — входной ЧМ сигнал; *в* — напряжение на выходе.

таются. Если же частота приходящего сигнала периодически изменяется, приближаясь то к резонансной частоте контура L_2C_2, то к резонансной частоте контура L_3C_3, то в соответствии с этим будут изменяться в противоположные стороны напряжения на индивидуальных нагрузках каждого из диодов и их разность (общее выходное напряжение дискриминатора) будет так же периодически изменяться, приобретая то положительную, то отрицательную полярность.

Если колебательные контуры дискриминатора по схеме на рис. 4-31 имеют неодинаковую добротность или неточно настроены, то в результирующей характеристике дискриминатора может отсутствовать прямолинейный участок, что приведет к нелинейным искажениям сигнала при детектировании. К сильным искажениям в этой схеме приводят также несимметричные относительно земли паразитные емкости. Точно настроить такую схему довольно трудно, в связи с чем дискриминатор с расстроенными контурами применяется в устройствах, не критичных к нелинейным искажениям, например, в системах автоматической подстройки частоты.

Фазовый дискриминатор (рис. 4-33). В основе действия этой схемы лежат фазовые соотношения между напряжениями, действующими на первичном и вторичном контурах, настроенных в резонанс на промежуточную частоту. Выпрямительная часть схемы имеет ту же структуру, что и в предыдущей схеме.

Электродвижущая сила E_2, наводимая во вторичном контуре, при резонансе совпадает по фазе с напряжением U_1, действующим на зажимах первичного контура (рис. 4-34). Поскольку при резонансе цепь LC проявляет чисто активное сопротивление, то и ток I_2 во вторичном контуре имеет ту же фазу. Напряжение же U_2, действующее на концах катушки индуктивности L_2, как и всегда, опережает ток I_2 в ней на 90°. Напряжения, снимаемые

с концов катушки L_2 относительно ее средней точки (U_2' и U_2''), составляют половину напряжения U_2 и имеют противоположные фазы.

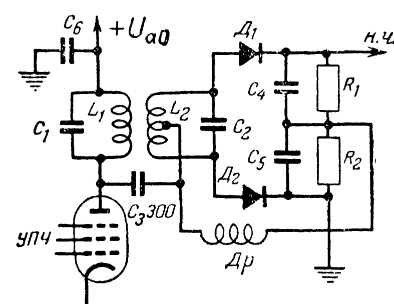


Рис. 4-33. Принципиальная схема фазового дискриминатора.

Описанные фазовые соотношения представлены в виде векторной диаграммы на рис. 4-35, *а*.

Для определения напряжений $U_{д1}$ и $U_{д2}$, поступающих на диоды $Д_1$ и $Д_2$ дискриминатора, как это следует

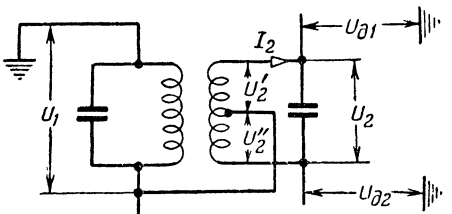


Рис. 4-34. Обозначение напряжений в схеме фазового дискриминатора.

из схемы на рис. 4-34, необходимо сложить напряжения U_2' и U_2'' с напряжением U_1. Поскольку эти напря-

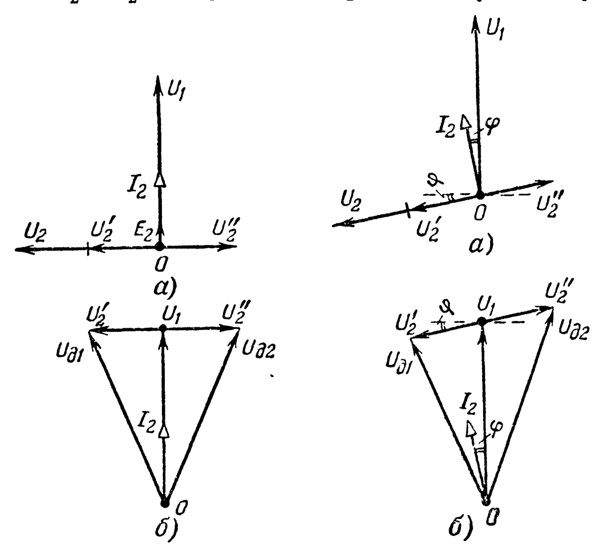


Рис. 4-35. Фазовые соотношения в схеме на рис. 4-34 при резонансе.

Рис. 4-36. Фазовые соотношения в схеме на рис. 4-34 при отклонении частоты сигнала от резонансной.

жения имеют различные фазы, то производится геометрическое сложение соответствующих векторов. Из рис. 4-35, *б* видно, что напряжения $U_{д1}$ и $U_{д2}$, хотя и различаются по фазе, но в данном случае имеют одинаковые значения (длины векторов $U_{д1}$ и $U_{д2}$ равные), т. е. $|U_{д1}| = |U_{д2}|$.

Иначе обстоит дело при отклонении частоты сигнала от резонансной частоты контура. Если, например, частота сигнала станет несколько ниже резонансной, то вторичный контур будет представлять комплексное сопротивление с преобладающей емкостной составляющей. При этом ток I_2 в нем будет несколько опережать по фазе напряжение U_1 (рис. 4-36, *а*). Напряжение U_2 на катушке индуктивности L_2 будет по-прежнему опережать ток I_2 на 90° и следовательно его фаза изменится на тот же угол φ, что и фаза тока I_2. Теперь сложение напряжений U_2' и U_2'', получивших дополнительный сдвиг фаз φ, с напряжением U_1 дает различные по величине напряжения $U_{д1}$ и $U_{д2}$ (рис. 4-36, *б*). В данном случае $|U_{д1}| < |U_{д2}|$. В случае отклонения частоты сигнала в сторону повышения против резонансной частоты контуров векторы I_2 и U_2 наклонятся в обратную сторону и получится $|U_{д1}| > |U_{д2}|$.

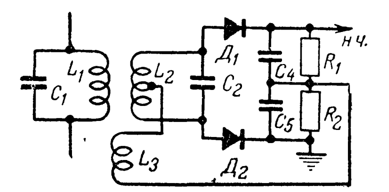


Рис. 4-37. Вариант схемы фазового дискриминатора с дополнительной катушкой связи L_3.

Таким образом напряжения $U_{д1}$ и $U_{д2}$, прикладываемые к диодам, оказываются амплитудно-модулированными по тому же закону, по которому модулирован приходящий сигнал по частоте.

Подобно дискриминатору с расстроенными контурами, в фазовом дискриминаторе детектирование происходит по двухтактной схеме, причем в отсутствии модуляции напряжение на общей нагрузке обоих диодов равно нулю, а при наличии модуляции с увеличением напряжения, детектируемого одним диодом, уменьшается напряжение, детектируемое другим диодом.

Фазовый дискриминатор прост в наладке, менее критичен к паразитным емкостям, чем дискриминатор с расстроенными контурами, и до недавнего времени являлся наиболее распространенным типом частотного детектора.

Наряду с введением опорного напряжения U_1 с помощью цепочки $C_3Д_р$ (рис. 4-33) часто пользуются дополнительной катушкой связи L_3 (рис. 4-37), индуктивно связанной с первичным контуром. Электродвижущая сила, наводимая в этой катушке, разумеется, совпадает по фазе с э. д. с. E_2, наводимой в катушке L_2, в связи с чем эта схема действует тождественно описанной выше.

Оба типа дискриминаторов чувствительны не только к частотной модуляции, но и к амплитудной модуляции. Если на их вход поступает АМ сигнал, то лишь при точном совпадении несущей частоты с резонансной частотой дискриминатора и строгой симметрии схемы на нагрузке не выделится низкочастотный сигнал. Но уже при небольшой расстройке АМ сигнал детектируется дискриминатором.

Прохождение ЧМ сигнала через колебательные контуры усилителя промежуточной частоты, как правило, приводит к появлению паразитной амплитудной модуляции, которая создает дополнительный ложный сигнал на выходе дискриминатора, искажающий форму передаваемого низкочастотного сигнала. Для предотвращения такого рода искажений и для подавления различных амплитудных помех предшествующий дискриминатору

каскад усиления промежуточной частоты (так называемый «ведущий» каскад) всегда ставят в режим амплитудного ограничителя (см. выше). Только при этом реализуется важнейшее преимущество связи с частотной модуляцией — высокая помехоустойчивость.

Дробный детектор. Определенными преимуществами перед дискриминатором обладает получающий все большее распространение частотный детектор другого типа, называемый дробным детектором или *детектором отношений*.

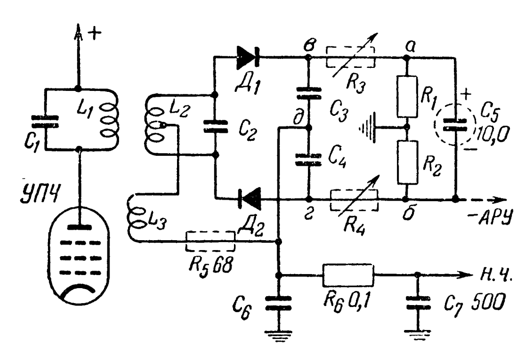


Рис. 4-38. Принципиальная схема симметричного дробного детектора.

$C_3 = C_4 = C_6 = 300$ *пф*; $R_1 = R_2 = 10$ *ком*; $R_3 = R_4 = 1 \div 3$ *ком*.

Существует два основных варианта дробного детектора *симметричный* (рис. 4-38) и *несимметричный* (рис. 4-39). В обоих случаях преобразование ЧМ сигнала в АМ сигнал осуществляется при помощи такой же системы связанных контуров, что и в фазовом дискриминаторе (сравните с рис. 4-37), но схема детектирования существенно отличается.

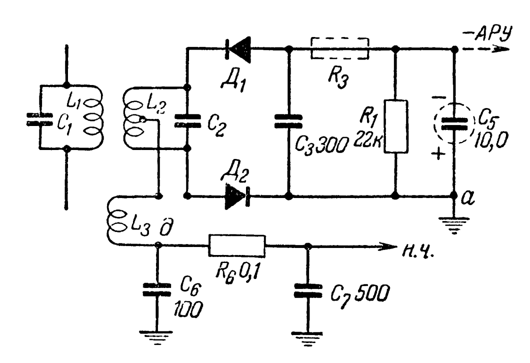


Рис. 4-39. Принципиальная схема несимметричного дробного детектора.

Хотя здесь применены тоже два диода, но они включены последовательно и проводят ток только в течение одного полупериода. Поэтому в отличие от дискриминаторов дробный детектор является однотактным и при прочих равных условиях развивает на выходе вдвое меньшее напряжение низкой частоты.

Далее, в схеме присутствует конденсатор C_5 большой емкости, блокирующий нагрузочные сопротивления диодов, так что на сопротивлениях $R_1 + R_2$ действует только постоянное напряжение, могущее изменяться лишь достаточно медленно (постоянная времени цепи нагрузки диодов достигает 0,2 *сек*). Это обстоятельство придает детектору новое весьма ценное качество: дробный детектор начинает сам подавлять амплитудную модуляцию и может применяться без отдельного ограничителя амплитуды, причем усиление ведущего каскада возрастает, облегчается комбинирование АМ и ЧМ трактов в усилителе промежуточной частоты.

Подавление амплитудной модуляции и импульсных помех обязано тому обстоятельству, что при большой постоянной времени цепи нагрузки увеличение (или уменьшение) амплитуды сигнала приводит к очень резкому увеличению (или уменьшению соответственно) тока, проходящего через диоды для соответствующего изменения заряда конденсатора C_5. Это, в свою очередь, вызывает резкое изменение добротности колебательного контура (при увеличении амплитуды сигнала дробность понижается, а при снижении — возрастает), что приводит к сглаживанию всяких изменений амплитуды сигнала.

Наконец, третьей особенностью схемы дробного детектора является иная точка съема низкочастотного сигнала.

В связи с тем, что нагрузочные сопротивления R_1, R_2 заблокированы конденсатором большой емкости C_5, то между точками *а* и *б* (рис. 4-38) отсутствует напряжение низкой частоты. Мало того, поскольку диоды включены последовательно, то выпрямленные ими напряжения не вычитаются, как это было в дискриминаторе, а складываются и, обращаясь к векторным диаграммам (рис. 4-35, 4-36), нетрудно понять, что низкочастотный сигнал будет отсутствовать даже между точками *в—г* при введении сопротивлений R_3 и R_4.

Напряжения, выпрямленные каждым из диодов в отдельности и изменяющиеся по закону низкой частоты, выделяются на конденсаторах C_3 и C_4, причем увеличение напряжения на одном из конденсаторов сопровождается таким же уменьшением напряжения на другом конденсаторе. Так как при этом суммарное напряжение (между точками *в* и *г*), неизменно, то нетрудно догадаться, что под низкочастотным напряжением оказывается средняя точка (*д*) соединения этих конденсаторов.

Конденсатор C_6 служит для сглаживания высокочастотной составляющей.

Ячейка R_6C_7 служит для выравнивания частотной характеристики в области высших звуковых частот. Дело в том, что ради улучшения отношения сигнал/шум в радиовещательных УКВ ЧМ передатчиках искусственно поднимают усиление высших звуковых частот.

В приемниках после детектирования создают соответствующий «завал» в высокочастотной части частотной характеристики, причем вместе с выравниванием сквозной частотной характеристики канала передатчик — приемник ослабляются всяческие шумы и импульсные помехи, создающие широкий спектр звуковых частот.

Ослаблению импульсных помех также содействует вводимое иногда в схему дробного детектора сопротивление R_5 (оно ограничивает импульсы тока через диоды).

Сопротивления R_3 и R_4, обозначенные на рис. 4-38 как переменные, часто вводятся для точного симметрирования схемы в случае разброса в вольтамперных характеристиках диодов или наличия асимметрирующих схему цепей, например, при получении от схемы дробного детектора напряжения для системы АРУ (оно может быть снято с отрицательного электрода конденсатора C_5).

Несимметричная схема дробного детектора, представленная на рис. 4-39, на практике находит более широкое применение. Она мало уступает по качеству работы симметричной схеме и в то же время значительно проще не только по своей структуре, но и в наладке.

Встречаются и другие варианты построения схемы дробного детектора, не отличающиеся, однако, принципиально от описанных.

Большим достоинством дробного детектора является также то, что уровень ограничения в нем устанавливается автоматически в соответствии со средним значением амплитуды принимаемого сигнала, причем для удовлетворительной работы его достаточны сигналы порядка 0,1 *в*.

Тем не менее сам механизм ограничения (переменное шунтирование колебательного контура) не содействует сведению к минимуму нелинейных искажений и более высококачественным детектором ЧМ все же принято считать дискриминатор.

Комбинированный ЧМ—АМ детектор. Во всех описанных детекторах ЧМ целесообразнее всего применять точечные германиевые диоды, имеющие малые габариты и емкости и не требующие накала. Использование вакуумных диодов снижает экономичность питания приемника и увеличивает опасность паразитных связей. И все же в некоторых образцах радиовещательных приемников еще применяются частотные детекторы с вакуумными диодами. При этом ради экономии числа ламп стараются один из диодов ЧМ тракта использовать и для детектирования АМ колебаний при работе приемника в других диапазонах волн.

Типичная схема комбинированного ЧМ—АМ детектора приведена на рис. 4-40.

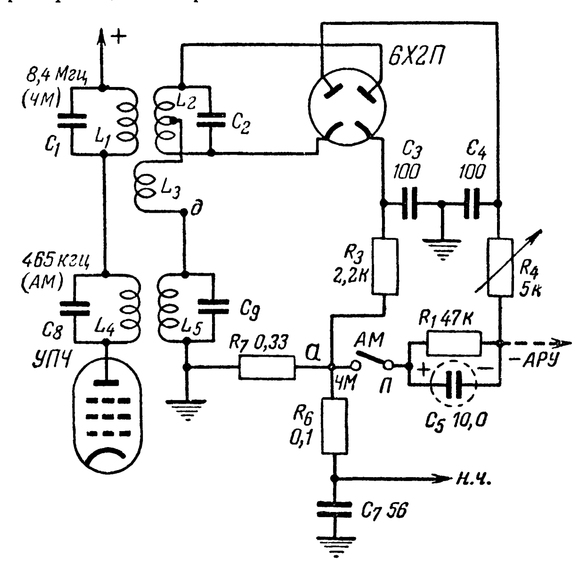


Рис. 4-40. Принципиальная схема комбинированного АМ—ЧМ детектора с двойным диодом.

В целях упрощения коммутации вторичные контуры фильтров промежуточной частоты трактов ЧМ ($L_2C_2L_3$) и АМ (L_5C_9) соединены последовательно. При приеме на УКВ переключатель П становится в положение ЧМ, причем образуется схема несимметричного дробного детектора, близкая к схеме на рис. 4-39, с взаимно измененными точками заземления и съема низкочастотного сигнала (*а* и *д*).

При переходе на прием АМ сигналов цепь конденсатора C_5 размыкается, причем правый (по схеме) диод начинает работать как обычный диодный детектор с сопротивлением нагрузки R_7, а левый используется в качестве отдельного детектора для системы АРУ.

Элементы схем дробных детекторов, имеющие одинаковое назначение, обозначены на рис. 4-38, 4-39 и 4-40 одинаково.

4-8. Усилитель напряжения низкой частоты

Основные качественные показатели усилителей напряжения низкой частоты. Усилителями напряжения низкой частоты называются каскады, обеспечивающие увеличение напряжения сигнала до величины, необходимой для приведения в действие мощного каскада, и работающие без сеточных токов.

Основной характеристикой усилителя напряжения является коэффициент усиления, показывающий, во сколько раз напряжение сигнала на выходе усилителя больше напряжения сигнала, подведенного к его входу:

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}. \qquad (4\text{-}6)$$

Пример. Для приведения в действие оконечного каскада на лампе 6П3С требуется напряжение 14 *в*. Усилитель предназначен для работы от звукоснимателя, развивающего напряжение 100 *мв* = 0,1 *в*. Определить необходимый коэффициент усиления предварительного усилителя.

По формуле (4-6) находим

$$K = \frac{14}{0,1} = 140.$$

Если необходимый коэффициент усиления не может быть обеспечен одним каскадом, то усилитель напряжения составляют из двух или большего числа каскадов. Общий коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен произведению коэффициентов отдельных его каскадов.

$$K_{общ} = K_1K_2K_3. \qquad (4\text{-}7)$$

Зависимость коэффициента усиления от частоты выражается частотной характеристикой (рис. 4-41). Для получения наименьших искажений необ-

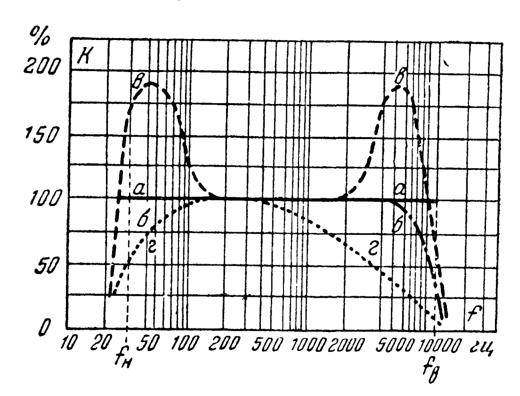


Рис. 4-41. Частотная характеристика усилителя низкой частоты.

а — идеальная характеристика; *б* — реальная характеристика *в* и *г* — специальные характеристики.

ходимо обеспечить одинаковое усиление на всех частотах, подлежащих звуковому воспроизведению, т. е. частотная характеристика в пределах от низшей усиливаемой частоты $f_н$ до высшей усиливаемой частоты $f_в$ должна изображаться прямой горизонтальной линией (кривая *а*). Но в целях компенсации искажений в других звеньях радиоаппаратуры и электрических приборах (микрофонах, звукоснимателях, громкоговорителях, звукозаписывающих системах), а также для улучшения субъективного восприятия радиопередачи часто умышленно искажают идеальную форму частотной характеристики: создают искусственный подъем усиления на низших и высших частотах (кривая *в*), так как именно они подвергаются наибольшему ослаблению в других звеньях (особенно при звукозаписи и в громкоговорителях) или же срезают наиболее высокие частоты (кривая *г*), которые при приеме радиопередач служат источником наибольших шумов.

Коэффициент усиления у низкочастотных усилителей принято условно указывать применительно к частоте сигнала в 400 или 1000 *гц*.

Третьим показателем, определяющим качество работы усилителя низкой частоты, является его **амплитудная характеристика**, которая показывает неравномерность усиления сигналов различных амплитуд (рис. 4-42). Из графика на рис. 4-42 видно, например, что сигнал напряжением 100 *мв* усиливается в 180 раз, в то время как сигнал с амплитудой 200 *мв* усилится только в 140 раз. Нелинейность амплитудной характеристики приводит к искажению формы усиливаемых колебаний, т. е. к изменению состава гармоник в них, и сказывается в появлении неприятного тембра звуков. Эти **нелинейные искажения** определяются **коэффициентом** нелинейных искажений (коэффициентом гармоник), который указывает (в процентах), какую долю выходного напряжения при усилении чисто синусоидального колебания составляет суммарное напряжение гармоник, появившихся в результате нелинейности амплитудной характеристики усилителя:

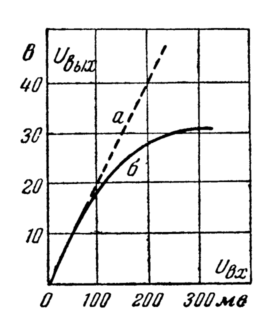


Рис. 4-42. Амплитудная характеристика усилителя низкой частоты.

а — идеальная характеристика; *б* — реальная характеристика.

$$K_{н} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \ldots}}{U_1}, \qquad (4\text{-}8)$$

где U_1 — напряжение первой гармоники, т. е. основного усиливаемого колебания, а U_2, U_3 . . . — напряжение второй, третьей и последующих высших гармоник.

Амплитуды гармоник по мере увеличения их номеров убывают, и на практике учитывают только вторую и третью гармоники.

При совместном усилении нескольких колебаний различных частот (а это всегда имеет место в музыкальных и речевых передачах) нелинейность амплитудной характеристики усилителя приводит и к возникновению искажений другого типа: к появлению так называемых комбинационных тонов. Комбинационные тона — это колебания с частотами, равными разностям и суммам частот различных комбинаций усиливаемых колебаний.

Механизм их образования аналогичен получению биений при гетеродинном детектировании. Ухо человека особенно чувствительно к искажениям звучания, связанным с появлением комбинационных тонов. Поэтому в последние годы для оценки нелинейности усилителей низкой частоты часто пользуются коэффициентом комбинационных искажений. Последний определяется относительной величиной напряжения комбинационного тона, появляющегося при совместном усилении двух синусоидальных колебаний определенных частот и амплитуд.

Усилитель на сопротивлениях. Усилитель такого рода наиболее распространен, так как применение в нем активных сопротивлений, не зависящих от частоты, позволяет получать достаточно равномерное усиление в широкой полосе частот с максимальным упрощением и удешевлением конструкции усилителя.

Для получения наибольшего усиления нужно увеличивать по возможности анодное сопротивление $R_а$ и шунтирующее его сопротивление утечки сетки $R_с$ следующего каскада (рис. 4-43).

Но чрезмерное увеличение $R_а$ и $R_с$ приводит к увеличению зависящего от частоты шунтирующего действия междуэлектродных емкостей ламп и емкости монтажа. Это вызывает ослабление усиления наиболее высоких частот в усиливаемом спектре. Ослабление усиления в области низших частот может получиться за счет недостаточной емкости разделительного конденсатора $C_р$, подающего усиленное лампой напряжение к следующему каскаду.

В усилителях низкой частоты на сопротивлениях для получения большего коэффициента усиления рационально применять высокочастотные пентоды с обычной (неудлиненной) характеристикой (6Ж8, 6Ж1П). Несколько меньшее усиление дают триоды с большим значением μ (6Г2, 6Н9С, 6Н2П). Еще меньшее усиление, но в то же время и меньшие искажения дают триоды с небольшим μ (6С2С, 6Н1П).

Коэффициент усиления каскада определяется с помощью формулы

$$K = \frac{\mu R_{н}}{R_{н} + R_i} \qquad (4\text{-}9)$$

или

$$K = \frac{SR_{н}}{1 + \frac{R_{н}}{R_i}}, \qquad (4\text{-}9а)$$

где

$$R_{н} = \frac{R_а R_с}{R_а + R_с}. \qquad (4\text{-}10)$$

Рис. 4-43. Усилитель низкой частоты на сопротивлениях.

Если $R_с >> R_а$, то принимают $R_н = R_а$.

Если $R_н \ll R_i$ (это обычно выполняется для пентодов), то формула (4-9а) упрощается:

$$K = SR_{н}. \qquad (4\text{-}9б)$$

Низшая усиливаемая частота, на которой разделительный конденсатор $C_р$ снижает усиление на 3 *дб*, определяется уравнением

$$f_{н} = \frac{1}{2\pi C_р \left(R_с + \frac{R_а R_i}{R_а + R_i}\right)}, \qquad (4\text{-}11)$$

которое можно решить относительно $C_р$ для расчета необходимой емкости разделительного конденсатора по заданному значению частоты $f_н$.

Высшая усиливаемая частота, на которой также снижается усиление на 3 *дб*, определяется уравнением

$$f_{в} = \frac{\frac{1}{R_а} + \frac{1}{R_с} + \frac{1}{R_i}}{2\pi (C_{вых1} + C_{вх2} + C_{м})}, \qquad (4\text{-}12)$$

где $C_{вых1}$ — выходная емкость рассчитываемого каскада;
$C_{вх2}$ — входная емкость следующего каскада;
$C_{м}$ — емкость монтажа.

Если одно из сопротивлений $R_а$, $R_с$ или R_i значительно меньше любого из двух других, то в числителе правой части формулы (4-12) достаточно оставить только один член, включающий в себя это сопротивление. В случае усилителя с пентодом таким сопротивлением обычно бывает $R_а$, т. е. вместо (4-12) получается

$$f_{в} = \frac{1}{2\pi (C_{вых1} + C_{вх2} + C_{м}) R_а}, \qquad (4\text{-}12а)$$

а в случае триода с малым μ (порядка 20) наименьшим оказывается внутреннее сопротивление R_i и вместо формулы (4-12) достаточно пользоваться упрощенным соотношением

$$f_{в} = \frac{1}{2\pi (C_{вых1} + C_{вх2} + C_{м}) R_i}. \qquad (4\text{-}12б)$$

Недостаточная емкость конденсаторов, блокирующих катод ($C_к$) и экранирующую сетку ($C_э$), может вызвать дополнительное снижение усиления в области низших частот. Для предотвращения этих искажений часто бывают достаточны емкости $C_к = 2 \div 5$ *мкф* и $C_э = 0{,}5 \div 1$ *мкф*. Однако емкость конденсатора $C_к$ часто увеличивают до 25—50 *мкф* с целью ослабления наводки фона переменного тока с нити накала на катод.

Трансформаторный усилитель. Такой усилитель (рис. 4-44) выгодно отличается от описанного выше тем, что он позволяет получить от каскада больший коэффициент усиления, чем коэффициент усиления лампы.

Рис. 4-44. Усилитель низкой частоты на трансформаторе.

Но свойства индуктивностей и собственных емкостей обмоток затрудняют получение равномерного усиления на различных частотах.

Для улучшения усиления на низших частотах необходима большая индуктивность первичной обмотки (50—200 *гн*); она должна быть тем больше, чем ниже подлежащая равномерному усилению низшая частота и чем больше внутреннее сопротивление лампы R_i. Поэтому для трансформаторного усилителя предпочтительно применять триоды с малым R_i, т. е. с малым μ (порядка 14—30).

В области высших частот имеет место подъем усиления, обусловленный резонансом, создаваемым емкостью вторичной цепи и индуктивностью рассеяния, которая зависит от конструкции трансформатора. При необходимости подавить или ослабить этот резонанс вторичную обмотку трансформатора нагружают сопротивлением R, величина которого может колебаться от десятков килоом до 2—3 *Мом*.

Коэффициент усиления каскада с трансформатором на средних частотах при отсутствии сопротивления R или достаточно большой величине его определяется формулой

$$K = \mu n, \qquad (4\text{-}13)$$

где μ — коэффициент усиления лампы, соответствующий выбранным $U_а$ и $U_с$, а

n — коэффициент трансформации повышающего трансформатора.

Увеличение n трансформатора приводит к искажениям на высших частотах, поэтому на практике выбирают n в пределах 2—4. Коэффициент n должен быть тем меньше, чем больше внутреннее сопротивление лампы и емкость вторичной цепи и чем выше подлежащая усилению наибольшая верхняя частота.

4-9. Усилитель мощности низкой частоты

Общие замечания. В зависимости от класса радиоприемника оконечный каскад усилителя низкой частоты должен развивать мощность от десятых долей ватта до 6—10 *вт*. Выходная мощность малых радиоузлов и клубных радиоустановок достигает 50—100 *вт*.

Для создания таких мощностей применяются специальные лампы, допускающие подачу больших амплитуд на сетку и рассчитанные на большой анодный ток.

В связи с низкой экономичностью мощных трехэлектродных ламп в последнее время оконечные усилители осуществляются главным образом на низкочастотных пентодах и лучевых тетродах, которые обеспечивают наибольшую экономичность питания.

Чтобы получить от лампы наибольшую полезную мощность при незначительных искажениях, необходимо применить вполне определенное сопротивление нагрузки. В связи с этим усилители мощности работают большей частью по схеме трансформаторного усиления, где выходной трансформатор и осуществляет необходимое преобразование сопротивления нагрузки к нужной величине.

Наряду с однотактной схемой, в принципе не отличающейся от рассмотренной раньше схемы трансформаторного усилителя напряжения (см. принципиальную схему на рис. 4-44, а графики, поясняющие ее работу, — на рис. 4-46, *а*), при выходной мощности более 3—5 *вт* находит широкое применение двухтактная схема, обеспечивающая дальнейшее повышение экономичности питания и повышение мощности, отдаваемой лампами.

Двухтактный усилитель (рис. 4-45). В этой схеме переменные напряжения подводятся к сеткам двух ламп в противоположной полярности: когда на сетку одной

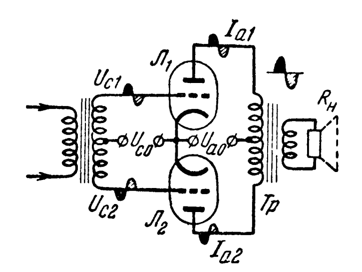


Рис. 4-45. Двухтактный усилитель.

лампы действует положительный полупериод, на сетку другой лампы поступает колебание такой же формы, но с отрицательной полярностью. Поэтому, если ток верхней по схеме лампы увеличивается, то у нижней он по тому же закону уменьшается.

В половинах (плечах) первичной обмотки выходного трансформатора анодные токи обеих ламп проходят навстречу друг другу, поэтому, несмотря на противоположные их изменения, колебания, усиленные обеими лампами, суммируются.

Двухтактные усилители обладают рядом преимуществ перед однотактными: 1) они не вводят четных гармоник усиливаемого сигнала; 2) уменьшение нелинейных искажений, вызываемых четными гармониками, дает возможность применять большие смещения и большие амплитуды напряжения сигнала, т. е. получать большие мощности; 3) пульсации анодного напряжения подаются на обе лампы в одинаковой фазе и влияние их взаимно компенсируется; 4) отсутствует насыщение сердечника постоянными составляющими выходного тока, что позволяет применять трансформаторы с сердечниками сравнительно небольших размеров; 5) переменные составляющие обеих ламп компенсируются в сопротивлении источника анодного напряжения и тем самым уменьшается опасность возникновения паразитной связи между каскадами, а следовательно, и генерации.

Мощность, развиваемая двухтактным усилителем, в зависимости от класса усиления, в 2—6 раз превосходит максимальную выходную мощность однотактного усилителя с такой же лампой.

Классы усиления. Если выходная мощность не очень велика (до 3—5 *вт*), то с экономичностью усилителя, питаемого от электросети, часто не считаются, и, желая получить наименьшие искажения, прибегают к усилению в режиме класса А, при котором рабочая точка (*РТ*) выбирается посередине прямолинейного участка характеристики (рис. 4-46, *а*). Но при мощностях более 10 *вт* и даже при меньших, если питание осуществляется от аккумуляторов или батарей, вопрос экономичности питания приобретает существенное значение. В этом случае применяют

усиление в режиме класса В, возможное только при двухтактном включении ламп.

В режиме класса В исходная рабочая точка выбирается на нижнем изгибе анодно-сеточной характеристики (рис. 4-46, *б*), причем анодный ток покоя ламп оказывается ничтожно малым, а при подаче колебаний каждая лампа усиливает только одну полуволну. Однако сложение обеих полуволн в выходном трансформаторе приводит к воссозданию неискаженного полного колебания.

При появлении сигнала и по мере увеличения его амплитуды постоянная составляющая анодного тока ламп в режиме класса В увеличивается. В то же время для предотвращения сильных искажений при усилении в классе В необходимо фиксированное, не зависящее от изменений анодного тока положение рабочих точек. Вследствие этого подача смещения от сопротивления, включенного в цепь катода, в усилителях класса В не применяется. Лучше всего они работают при подаче сеточного смещения от отдельного выпрямителя или на специальных лампах с так называемой «правой» характеристикой, располагающейся в области положительных напряжений на управляющей сетке, например, на двойных триодах 6Н7С, СО-243, которые для работы в классе В вовсе не требуют сеточного смещения (именно такие характеристики изображены на рис. 4-46, *б*).

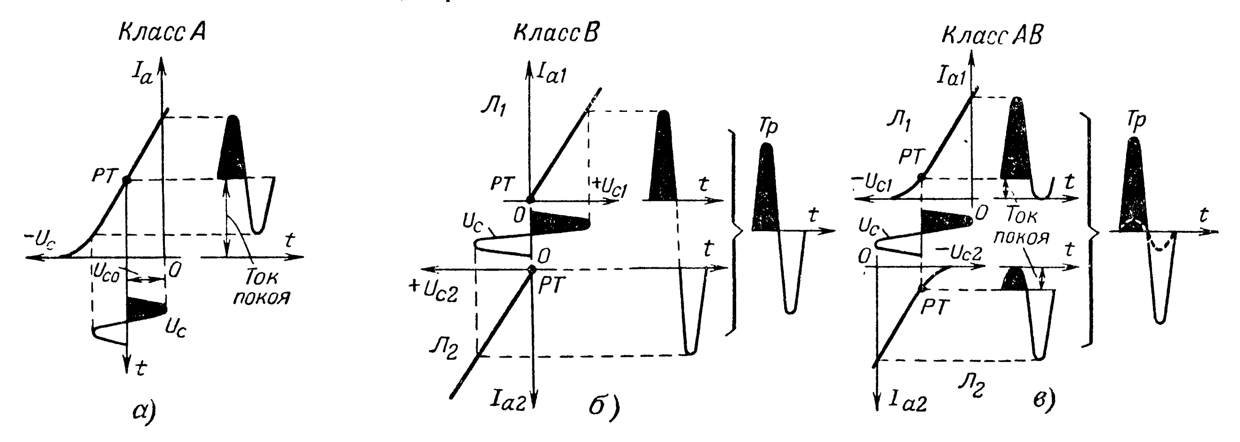


Рис. 4-46. Положение рабочих точек и формы колебаний анодного тока ламп при работе в классах А, В и АВ.

Усиление в режиме класса В на тетродах или пентодах сопряжено с большими искажениями, так как у этих ламп обычно начало характеристики имеет слишком длинный криволинейный участок. Поэтому у тетродов и пентодов рабочую точку сдвигают не так далеко, как у триодов, и получают режим усиления АВ, занимающий промежуточное положение между классами А и В. Этот режим осуществим только при двухтактном усилении, так как в одной лампе отрицательные полупериоды заметно ослабляются, зато во второй лампе отрицательный полупериод подается на ее сетку с обратной полярностью (в виде положительного) и усиливается ею без искажений (рис. 4-46, *в*).

Поскольку в режиме класса АВ рабочая точка выбирается в нижней части прямолинейного участка характеристики, то усиление слабых сигналов происходит в режиме класса А, а сильных — в режиме класса В. Это способствует уменьшению искажений при малой амплитуде сигнала, на сетках, которые свойственны усилителю класса В, и в то же время обеспечивает высокую экономичность питания и большую выходную мощность при больших амплитудах усиливаемых сигналов.

Усиление в режиме класса АВ подразделяется на AB_2 и AB_1. Режим класса AB_2 предусматривает отдачу особенно большой мощности и допускает работу с заходом амплитуд сеточного напряжения в область сеточных токов.

Усиление в режиме класса AB_2 подобно усилению в режиме класса В осуществляется при фиксированном независимом напряжении сеточного смещения, так что рабочая точка имеет постоянное положение на характеристике. В режиме класса AB_1 (при несколько меньшем начальном смещении) допускается подача напряжения сеточного смещения от сопротивления в цепи катода. Тогда с увеличением амплитуды сигнала и ростом среднего значения анодного тока смещение возрастает и в известной мере расширяет пределы использования лампы. Но для получения наибольшей мощности безусловно выгоднее режим класса AB_2 с применением фиксированного смещения.

Очень существенным обстоятельством является то, что при работе лампы в режиме класса AB_2 и класса В в цепи сетки лампы проходит ток, а следовательно, в ней расходуется некоторая мощность. Отсюда появляются и особые требования к предшествующему каскаду: хотя он является и предварительным, но должен в то же время развивать определенную мощность, необходимую для питания сеточной цепи ламп оконечного каскада. Чтобы отличить такой каскад предварительного усиления от обычного усилителя напряжения, его часто называют предоконечным или ведущим.

Сочетание высокой эффективности оконечного каскада с малыми нелинейными искажениями достигается тщательным подбором как режима питания, так и сопротивления нагрузки. Типовые режимы оконечных каскадов с различными лампами приведены в табл. 4-5.

Ультралинейный усилитель. Интенсивные работы по повышению качества звучания радиовещательных приемников привели в частности к разработке особого режима применения пентодов в оконечных каскадах.

Дело в том, что хотя пентоды и вытеснили трехэлектродные лампы из оконечных каскадов, тем не менее они все же уступают триодам в отношении нелинейных искажений и величины выходного сопротивления. При низком выходном сопротивлении, свойственном триодам, легче расширить полосу усиливаемых частот в сторону самых низких (для этого достаточна меньшая индуктивность первичной обмотки выходного трансформатора) и кроме того, удается уменьшить искажения, создаваемые самим громкоговорителем, ибо подвижная система громкоговорителя демпфируется выходным сопротивлением усилителя.

Типичная схема ультралинейного усилителя приведена на рис. 4-47. Она отличается тем, что экранирующие сетки ламп присоединены к специальным отводам от пер-

Таблица 4-5

Типовые режимы оконечных каскадов

Лампы	6Н7С	6П1П, 6П6С		6П3С			6П14П		6П18П
Классы	В	А	$АВ_1$	А	$АВ_1$	$АВ_2$	А	$АВ_1$	А
$U_{а0}$, *в*	300	250	250	250	350	300	250	250	170
$U_э$, *в*	—	250	250	250	250	250	250	250	170
$U_с$, *в*	0	−12,5	−15	−14	−22	−22	−6,4	−8,5	−6,5
$I_{а0}$, *ма*	35	45	70	75	88	88	48	58	53
$I_а + I_э^*$, *ма*	70	54	92	86	120	220	56	100	65
$I_э$, *ма*	—	4,5	5	5	5	5	5	6,6	7
$R_к$, *ом*	0	250	200	170	250	0	120	120	110
$R_н$, *ком*	8	5	10	2,5	9	3,8	4,8	8	3
$P_{вых}$, *вт*	10	4,5	8	6,5	20	40	5	11	3
$К_н$, %	10	8	5	10	4	2,5	11	3,5	10
$U_{возб}^{**}$, *в*	57	9	21	10	36	50	4,3	15,2	4,6

Примечание. Данные для класса А относятся к однотактной схеме, а для классов АВ и В — для двухтактной схемы, причем все токи указываются суммарные для обеих ламп. $R_н$ — между анодами, $U_{возб}$ — между сетками.

* При максимальном сигнале.
** Действующее значение.

вичной обмотки выходного трансформатора. При правильном выборе режима питания и части первичной обмотки $w_э$, введенной в цепь экранирующих сеток, такой усилитель может сохранить экономичность и выходную мощность пентодного каскада, низкое выходное сопротивление триодного каскада и обеспечить нелинейные искажения меньше, чем в случаях как пентодного так и триодного включения ламп.

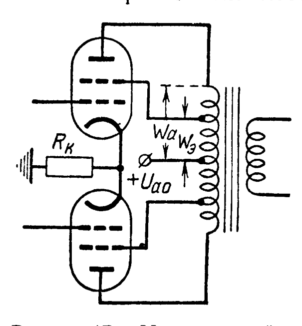


Рис. 4-47. Ультралинейный усилитель.

Эти новые ценные качества ультралинейного усилителя возникают в связи с особым нелинейным механизмом отрицательной обратной связи, создаваемой при указанном на схеме способе включения экранирующих сеток. Однако реализация этих преимуществ требует применения высококачественного выходного трансформатора с минимальными индуктивностями рассеяния.

Типовые режимы ультралинейных усилителей с некоторыми типами ламп приведены в табл. 4-6.

Бестрансформаторный усилитель. Высококачественный выходной трансформатор, не вносящий существенных нелинейных и частотных искажений, является весьма сложной и дорогой деталью. Поэтому создание оконечных усилителей, способных работать непосредственно на звуковую катушку громкоговорителя, представляет большой интерес. Для реализации таких усилителей разработаны специальные лампы, развивающие достаточную мощность при пониженном сопротивлении нагрузки, и громкоговорители с повышенным сопротивлением звуковой катушки.

Таблица 4-6

Типовые режимы ультралинейных каскадов

Лампы	6П1П, 6П6С	6П3С	6П14П
$U_{а0}$, *в*	250	385	300
$U_{э0}$, *в*	250	385	300
$R_к$, *ом*	430	350	130
$R_н$, *ком*	10	6,6	8
$\frac{w_э}{w_а}$, %	22,5	43	43
$P_{вых}$, *вт*	8	20	10
$К_н$, %	0,5	0,7	0,5

Распространенный вариант схемы бестрансформаторного усилителя приведен на рис. 4-48. Эта схема представляет собой разновидность двухтактного каскада с последо-

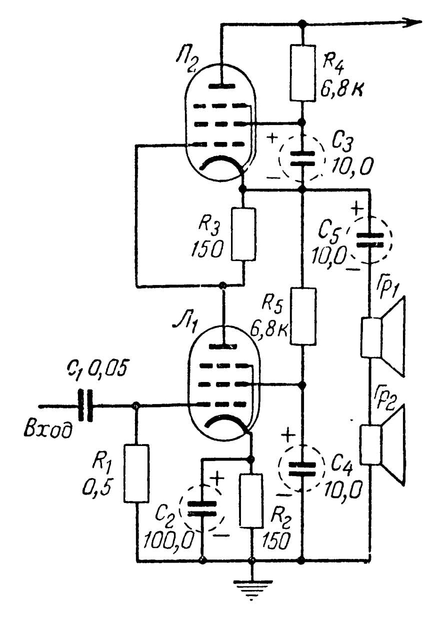


Рис. 4-48. Принципиальная схема бестрансформаторного оконечного усилителя.

вательным включением ламп. Исходные рабочие точки ламп выбираются так, что напряжения (относительно своего катода) и токи соответствующих электродов обеих ламп одинаковые, напряжение питания анодных цепей $U_{а0}$ распределяется между обеими лампами пополам.

Хотя сигнал подается только на одну лампу $Л_1$, однако включенное в ее анодную цепь сопротивление R_3, являющееся одновременно сопротивлением автоматического смещения лампы $Л_2$, передает усиливаемый сигнал в противоположной полярности на управляющую сетку лампы $Л_2$.

Таким образом при усилении сигнала в этой схеме, как и в обычном двухтактном усилителе, анодные токи обеих ламп изменяются в противоположных направлениях. Но поскольку лампы включены последовательно, а к средней точке их соединения (к катоду $Л_2$) подключены громкоговорители, то разностный ток обеих ламп направляется в цепь громкоговорителей, и как обычно, усиленные лампами колебаний суммируются.

В отличие от обычных двухтактных усилителей, бестрансформаторный каскад по схеме на рис. 4-48 не может работать в классе В, так как лампа $Л_1$ является одновременно фазоинвертером для лампы $Л_2$ и в случае ее запирания на лампу $Л_2$ не будет поступать усиливаемый сигнал. В связи с этим часто лампу $Л_2$ называют собственно выходной, а $Л_1$ — ведущей.

Следует также иметь в виду, что поскольку громкоговорители присоединены к катодному выходу лампы $Л_2$ и к анодному выходу лампы $Л_1$, мощности, доставляемые в громкоговорители одной и другой лампами в общем случае не равны: большую мощность отдает лампа $Л_2$, ибо выходное сопротивление со стороны катода ниже, чем со стороны анода.

Выходной трансформатор однотактного усилителя. Коэффициент трансформации выбирается из условий приведения сопротивления нагрузки к величине, требуемой выбранным режимом оконечной лампы. Согласно формуле (3-53г) коэффициент трансформации

$$n = \sqrt{\frac{R_{1э}}{R_н}}.$$

Применительно к выходному трансформатору в качестве $R_н$ надо подставлять сопротивление переменному току звуковой катушки громкоговорителя $R_{гр}$ (на 20% больше ее сопротивления постоянному току), а $R_{1э}$ — требуемое выбранным режимом сопротивление нагрузки оконечной лампы $R'_н$:

$$n = \sqrt{\frac{R'_н}{R_{гр}}}. \qquad (4\text{-}14)$$

Индуктивность L_1 первичной обмотки трансформатора рассчитывается по приближенной формуле

$$L_1 \approx 0{,}2\frac{R'_н}{f_н}, \qquad (4\text{-}15)$$

где $f_н$ — низшая частота усиления.

П р и м е р. Определить параметры выходного трансформатора для оконечного каскада на пентоде 6П14П если сопротивление звуковой катушки громкоговорителя $R_{гр} = 4$ *ом*, приведенное сопротивление нагрузки $R'_н = 8000$ *ом* и низшая усиливаемая частота $f_н = 100$ *гц*.

По формуле (4-14) находим

$$n = \sqrt{\frac{8000}{4}} = 45$$

и по формуле (4-15)

$$L_1 \approx 0{,}2\frac{8000}{100} = 16 \text{ гн}.$$

На частотную характеристику в области наиболее высоких звуковых частот оказывает вредное влияние индуктивность рассеяния (параметр, зависящий от конструкции трансформатора и трудно рассчитываемый заранее). Для уменьшения величины индуктивности рассеяния в наиболее высококачественных конструкциях применяют перемежающуюся или секционированную обмотки (рис. 4-49).

Конструктивный расчет выходного трансформатора. По заданным значениям n, L_1 и среднему значению постоянного тока $I_{а0}$ в первичной обмотке производят расчет сердечника и обмоточных данных выходного трансформатора

Площадь поперечного сечения $S_с$ сердечника выходного трансформатора рассчитывается по формуле

$$S_с = \frac{I^2_{а0}L_1}{5000}, \qquad (4\text{-}16)$$

где $S_с$ — в *см*^{2} и $I_{а0}$ — в *ма*.

Пластины сердечника выбираются так, чтобы средняя длина магнитной силовой линии $l_с$ (рис. 4-49, *а*), выраженная в сантиметрах, не была меньше вычисленного по формуле (4-16) численного значения $S_с$. Кроме того,

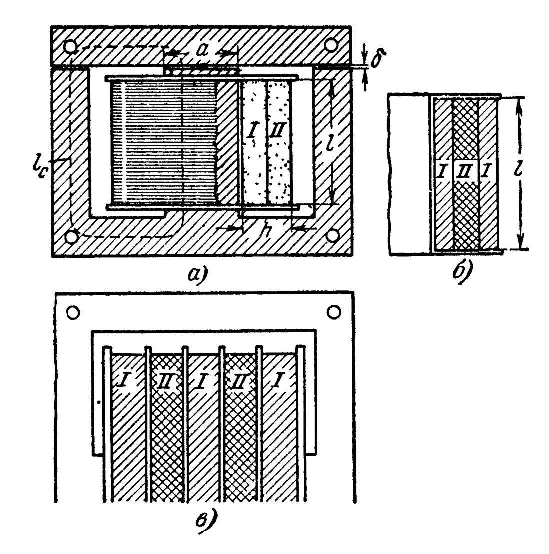


Рис. 4-49. Конструкции обмоток выходного трансформатора.

а — несекционированные обмотки; *б* — перемежающиеся обмотки; *в* — секционированные обмотки.

пластины должны быть разъемными, и необходимый зазор δ (в миллиметрах) при сборке сердечника определяется формулой

$$\delta = \frac{I_{а0}w_1}{14 \cdot 10^5}, \qquad (4\text{-}17)$$

где w_1 — число витков первичной обмотки трансформатора:

$$w_1 = 600\sqrt{\frac{L_1 l_с}{S_с}}. \qquad (4\text{-}18)$$

Толщина пакета пластин (в сантиметрах)

$$b = 1{,}1\frac{S_с}{a}, \qquad (4\text{-}19)$$

где a — ширина центральной части пластины, *см*.

Диаметр провода первичной обмотки (в миллиметрах)

$$d_1 = 1{,}13\sqrt{\frac{I_{а0}}{\gamma\, 1000}}, \qquad (3\text{-}15а)$$

где γ (плотность тока) $= 2 \div 2{,}5$ *а/мм*^{2} и $I_{а0}$ — в *ма*.

Число витков вторичной обмотки w_2 и диаметр ее провода d_2 рассчитываются по формулам:

$$w_2 = \frac{w_1}{n} \qquad (4\text{-}20)$$

$$d_2 = d_1\sqrt{n}. \qquad (4\text{-}21)$$

В заключение расчета проверяют, достаточна ли площадь окна выбранного типа пластин для размещения в нем обмоток. Для этой цели пользуются табл. 9-4 (на стр. 163), в которой указано, сколько витков плотной намотки при различном диаметре и изоляции провода умещается в 1 *см*² сечения обмотки (в таблице не учтены изолирующие прокладки между слоями, которые помещают иногда для повышения электрической прочности трансформатора или для уменьшения собственной емкости обмотки).

Пример. Индуктивность первичной обмотки трансформатора $L_1 = 16$ *гн*, коэффициент трансформации $n = 45$, постоянный ток в первичной обмотке $I_{a0} = 48$ *ма*. Найти тип пластин, толщину пакета b, δ, w_1, d_1, w_2 и d_2.

Находим

$$S_c = \frac{48^2 \cdot 16}{5000} = 7{,}4 \text{ см}^2.$$

Выбираем Ш-образные разъемные пластины типа Ш-25 (см стр. 224), у которых $a = 2{,}5$ *см* и $l_c = 21{,}4$ *см*. Тогда

$$b = 1{,}1 \frac{7{,}4}{2{,}5} \approx 3{,}2 \text{ см};$$

$$w_1 = 600 \sqrt{\frac{16 \cdot 21{,}4}{7{,}4}} = 4100 \text{ витков},$$

$$d_1 = 1{,}13 \sqrt{\frac{48}{2{,}5 \cdot 1\,000}} \approx 0{,}15 \text{ мм}; \quad w_2 = \frac{4100}{45} = 91 \text{ виток};$$

$$d_2 = 0{,}15 \sqrt{45} = 1 \text{ мм}; \quad \delta = \frac{48 \cdot 4\,100}{14 \cdot 10^5} = 0{,}14 \text{ мм}$$

Приведенный расчет выходного трансформатора однотактного усилителя остается верным и для трансформаторов двухтактного усилителя, за исключением следующих пунктов:

1. Коэффициент трансформации n вычисляется по той же формуле (4-14), но в качестве сопротивления $R_н$ нужно подставлять рекомендуемые табл. 4-5 для двухтактного усилителя значения приведенного сопротивления нагрузки между анодами ламп.
2. Формула (4-16) заменяется формулой

$$S_c = 150 \frac{P_{вых}}{f_н l_c}. \quad (4\text{-}16а)$$

3. В формуле (4-18) вместо множителя 600 нужно поставить 400.
4. Двухтактные трансформаторы делают без воздушного зазора.

Фазораздвоители. В усилителях низкой частоты для перехода с однотактной схемы на двухтактную применяются так называемые фазораздвоители, задачей которых является создание двух одинаковых по величине, но противоположных по фазе напряжений. Каждое из этих напряжений подается затем к управляющим сеткам одной и другой ламп двухтактного усилителя.

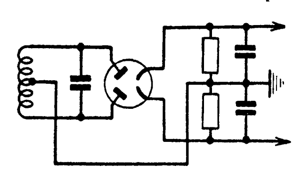


Рис. 4-50. Раздвоение фаз до усилителя низкой частоты (двухтактный детектор).

На рис. 4-50 представлена схема раздвоения фаз, применяемая на входе усилителя низкой частоты, с тем чтобы усиление по низкой частоте с первого же каскада вести по двухтактному методу (в целях уменьшения нелинейных искажений).

На рис. 4-51, *а* изображена схема фазораздвоителя с трансформатором *Тр*, у которого вторичная обмотка имеет отвод от ее середины. Эту схему целесообразно применять в последнем каскаде предварительного усилителя, когда двухтактный оконечный каскад работает в режиме классов АВ или В, т. е. когда от предоконечного каскада требуется некоторая мощность.

Фазораздвоитель по схеме на рис. 4-51, *а* по сути дела является трансформаторным усилителем и как таковой может быть выполнен в форме усилителя напряжения, если последний каскад работает без сеточных токов, т. е. в классе А или АВ, или усилителя мощности, если следующий за ним каскад поставлен в режим классов $АВ_2$

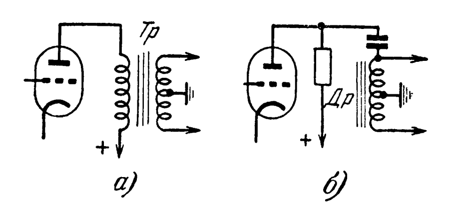


Рис. 4-51. Фазораздвоитель.

а — с трансформатором; *б* — с дросселем

или В. В последнем случае для получения наименьших искажений трансформатор выгодно включить не в анодную, а в катодную цепь (см. рис. 4-57), причем, однако, коэффициент усиления фазораздвоителя уменьшится до единицы из-за глубокой отрицательной обратной связи, но зато предыдущий каскад будет работать в режиме усилителя напряжения.

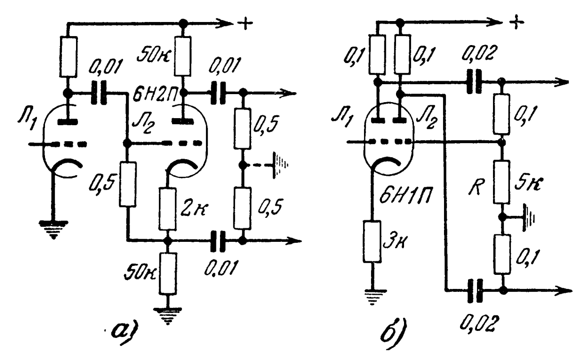


Рис. 4-52. Фазоинверсные схемы с отдельной лампой (инвертором).

Для раздвоения фаз вместо трансформатора можно применить дроссель низкой частоты *Др* с отводом от средней точки (рис. 4-51, *б*), в качестве которого может работать вторичная обмотка входного двухтактного трансформатора с поврежденной первичной обмоткой. Однако коэффициент усиления при этом не может быть таким же высоким, как у усилителя с трансформатором.

Переход с однотактной схемы на двухтактную без трансформаторов может быть осуществлен с помощью так называемых фазоинверсных схем, две из которых изображены на рис. 4-52. Они могут применяться при условии, что следующий каскад работает без сеточных токов.

Наименьшие искажения вносит схема на рис. 4-52, *а*, где лампа $Л_2$ работает с глубокой отрицательной обратной связью. В схеме на рис. 4-52, *б* сопротивление R, с которого снимается напряжение для поворота фазы на лампу $Л_2$ приходится иногда подбирать опытным путем, чтобы добиться равенства напряжений, подаваемых на каждую из сеток лампы двухтактного каскада.

В массовых упрощенных конструкциях иногда применяются схемы, в которых роль инверторной лампы возлагают на одну из ламп самого двухтактного усилителя. Одна из них приведена на рис. 4-53.

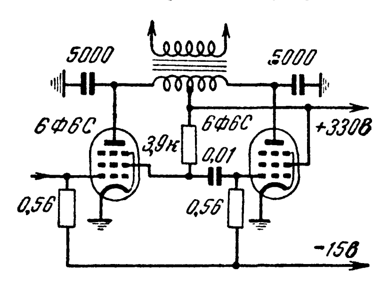


Рис. 4-53. Получение второй фазы за счет одной из ламп оконечного каскада.

4-10. Вспомогательные элементы и регулировки

Обратная связь в усилительных каскадах. *Положительная обратная связь*, не доведенная до возникновения генерации, применяется в высокочастотных резонансных усилителях в целях повышения их коэффициента усиления и чувствительности.

В супергетеродинном приемнике наиболее рационально устраивать положительную обратную связь в каскадах промежуточной частоты (рис. 4-54), поскольку в них настройка колебательных контуров постоянна и потому нет необходимости регулирования ее в процессе приема Такая связь повышает усиление и чувствительность приемника в 2—3 раза и повышает избирательность контура, в котором применена, а потому применение ее имеет смысл в малоламповых супергетеродинах и в приемниках с малым числом резонансных контуров.

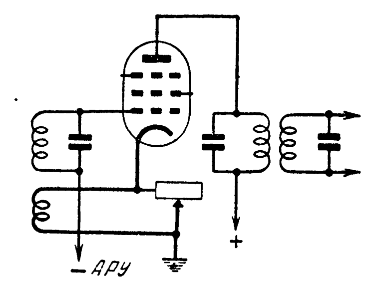


Рис. 4-54. Положительная обратная связь в усилителе промежуточной частоты.

В высококачественных приемниках положительную обратную связь не применяют, так как она все же вносит некоторые искажения и ухудшает стабильность параметров схемы.

Заметим, что при наличии автоматического регулирования усиления (АРУ) в том каскаде, в котором применена положительная обратная связь, наблюдается эффект автоматического регулирования избирательности: она возрастает при приеме слабых и уменьшается при приеме сильных сигналов. Это объясняется зависимостью степени обратной связи от крутизны характеристики лампы, а крутизна зависит от отрицательного напряжения на сетке, которое создается системой АРУ в соответствии с амплитудой принимаемых сигналов.

Отрицательная обратная связь состоит в том, что часть полученного на выходе усилителя переменного напряжения подводится в противоположной фазе обратно ко входу, что приводит к снижению усиления. Так как подаваемое обратное напряжение максимально на частоте, на которой максимально и усиление, то снижение выходного напряжения будет на этой частоте наибольшим. Следовательно, отрицательная обратная связь уменьшает частотные искажения. Подводимое обратно напряжение содержит также нелинейные искажения и составляющую шума, создаваемые усилителем, следовательно, отрицательная обратная связь частично снижает также и нелинейные искажения и шумы, возникающие в усилителе.

Кроме того, отрицательная обратная связь повышает входное сопротивление и уменьшает выходное сопротивление охваченного ею усилителя.

Необходимое изменение фазы напряжения для отрицательной обратной связи происходит автоматически, если связь по напряжению осуществлена между анодом и сеткой одной и той же лампы (рис. 4-55, *а*) или между анодами следующих друг за другом ламп (рис. 4-55, *б*). Если же обратная связь охватывает два или больше каскадов, то сдвиг фазы на 180° осуществляют или по схеме на рис. 4-56, *а* (при четном числе каскадов), или 4-56, *б* (при нечетном числе каскадов).

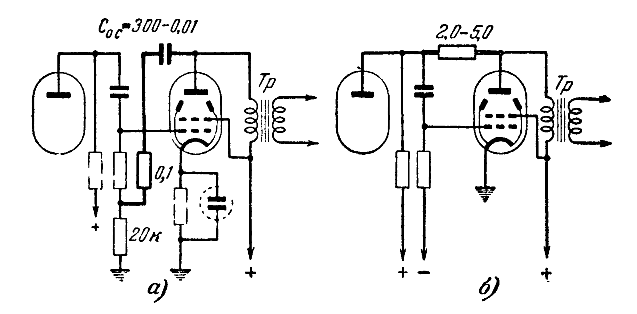


Рис. 4-55. Отрицательная обратная связь в оконечном каскаде усилителя низкой частоты.

Если в усилителе имеется трансформатор, то фаза легко может быть перевернута взаимным переключением концов одной из обмоток трансформатора. В усилителях низкой частоты напряжение обратной связи можно брать со вторичной обмотки выходного трансформатора и вводить его в цепь катода первой лампы усилителя. При этом уменьшаются также искажения, вносимые выходным трансформатором.

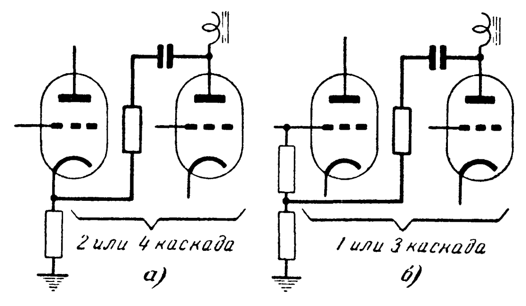


Рис. 4-56. Схемы подачи обратной связи.

а — при четном числе каскадов; *б* — при нечетном числе каскадов.

Величину (глубину) отрицательной обратной связи принято характеризовать коэффициентом обратной связи β, показывающим, какая доля выходного напряжения вводится обратно на вход усилителя. Если в отсутствии обратной связи коэффициент усиления, выходное сопротивле-

ние, коэффициент нелинейных искажений и уровень собственных шумов (в том числе фона переменного тока) усилителя имели значения K, $R_{вых}$, $K_н$ и $U_ш$ соответственно, то после введения отрицательной обратной связи они уменьшаются в $1 + \beta K$ раз, т. е.

$$K_{о.\,с} = \frac{K}{1+\beta K}, \tag{4-22}$$

$$R_{вых.\,о.\,с} = \frac{R_{вых}}{1+\beta K}, \tag{4-23}$$

$$K_{н.\,о.\,с} = \frac{K_н}{1+\beta K}, \tag{4-24}$$

$$U_{ш.\,о.\,с} = \frac{U_ш}{1+\beta K}, \tag{4-25}$$

где индексами «о. с» отмечены характеристики усилителя с обратной связью. Примерно во столько же раз уменьшается неравномерность частотной характеристики усилителя, т. е. частотные искажения.

Из формул (4-22) — (4-25) видно, что эффективность обратной связи возрастает с увеличением не только коэффициента β, но и коэффициента усиления K усилителя, охваченного ею. Поэтому выгодно охватывать обратной связью весь усилитель низкой частоты. Однако приведеные выражения справедливы до тех пор, пока напряжение обратной связи имеет строго противоположную фазу в сравнении со входным напряжением. Дополнительные же фазовые сдвиги, накапливающиеся в усилителе, приводят к нарушению этого условия.

При охватывании обратной связью большого числа каскадов на некоторых частотах может накопиться столь большой дополнительный сдвиг фаз, что обратная связь из отрицательной превратится в положительную, причем вместо снижения искажений произойдет их увеличение или даже самовозбуждение усилителя. Для предотвращения таких эффектов у высококачественных усилителей резко расширяют полосу равномерно усиливаемых частот, делая ее значительно шире, чем это необходимо для усиления звуковых частот (например, от 5 *гц* до 100 *кгц*). Эта мера обеспечивает малые фазовые искажения и позволяет применять глубокую обратную связь ($1 + \beta K = 20 \div 50$) для подавления других видов искажений.

В менее высококачественных устройствах ограничиваются не слишком глубокой обратной связью ($1 + \beta K = 2 \div 5$), вводимой только в последние 1—2 каскада, которые вносят наибольшие искажения.

В оконечных каскадах мощных усилителей, работающих с непостоянной нагрузкой (в трансляционных установках), отрицательная обратная связь важна и для стабилизации выходного напряжения, так как возникающие при сбросе нагрузки перенапряжения могут оказаться пагубными как для выходного трансформатора, так и для самих оконечных ламп, если в качестве их применены пентоды или лучевые тетроды. Наличие же отрицательной обратной связи ограничивает максимально возможное выходное напряжение, так как всякое увеличение напряжения на выходе автоматически вызывает уменьшение усиления.

Элементы цепи обратной связи можно подобрать так, чтобы скомпенсировать частотные искажения, возникающие в других каскадах радиоустановки. Так, например если в схеме на рис. 4-55, *а* применить конденсатор $C_{о.\,с}$ недостаточно большой емкости, то для низших частот отрицательная обратная связь будет резко ослаблена, усиление на них окажется больше, чем на средних и, в особенности, на высших частотах, в результате басы окажутся подчеркнутыми, а высокие тона — срезанными. Схемы обратной связи для подъема и срезания низких и высоких тонов рассматриваются ниже.

Разновидностью схемы отрицательной обратной связи является усилитель с катодным выходом (рис. 4-57, *а*), у которого нагрузочное сопротивление включается в цепь катода и напряжение обратной связи равно величине выходного напряжения. Такой каскад по сути дела не усиливает напряжение: его коэффициент усиления практически весьма близок к единице. Зато глубокая обратная связь приводит к очень низкому выходному сопротивлению

$$R_{вых} = \frac{1}{S}, \tag{4-26}$$

где S — крутизна анодно-сеточной характеристики лампы

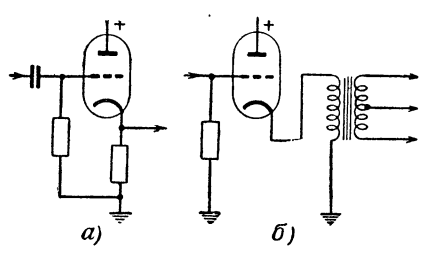


Рис. 4-57. Усилитель с катодным выходом.
а — с *RC* связью; *б* — трансформаторный.

Это свойство катодного повторителя оказывается иногда весьма ценным. Катодный повторитель находит применение вместо трансформаторных усилителей при работе на соединительную линию, в качестве предоконечного каскада, возбуждающего мощный двухтактный усилитель класса AB_2 или B, в измерительной аппаратуре, где требуется иметь высокое входное сопротивление и др.

Отрицательная обратная связь широко применяется в измерительной аппаратуре в целях компенсации частотных и нелинейных искажений, повышения входного сопро-

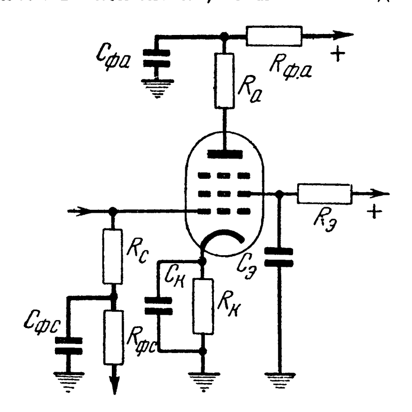


Рис. 4-58. Источники паразитных обратных связей в усилителе.

тивления измерительных схем, а также для стабилизации коэффициента усиления каскадов, который при наличии обратной связи не так сильно зависит от изменений питающих напряжений.

Паразитная обратная связь может возникнуть в цепях питания любых электродов ламп через элементы ячеек *RC* при недостаточной емкости конденсаторов ячеек. В самом деле, малая емкость конденсатора $C_к$, шунтирующего сопротивления в цепи катода лампы (рис. 4-58), приводит к образованию отрицательной обратной связи на низших частотах, для которых X_C конденсатора $C_к$ увеличивается,

и на нем выделяется часть усиленного лампой напряжения. Это снижает усиление низших частот.

Такое же действие оказывает уменьшение емкости конденсатора $C_э$ в цепи экранирующей сетки лампы. Наоборот, уменьшение емкости конденсатора $C_{ф.а}$ анодной развязки создает эффект увеличения анодного сопротивления для низших частот и вызывает подъем усиления их, но в то же время делает возможным проникновение усиленных колебаний в источник анодного питания, а оттуда в другие каскады усиления и создает опасность самовозбуждения усилителя.

Таким образом, даже при правильном расчете всего усилителя могут возникнуть иногда очень сильные искажения из-за неправильного выбора элементов вспомогательных цепей. Пределы, в которых возможен выбор величины сопротивлений вспомогательных цепей (автоматического смещения, анодной и сеточной развязок, экранирующей сетки), обычно весьма ограничены, так как они определяют поступающие на электроды ламп питающие напряжения.

При определенных значениях сопротивлений возникновение паразитных обратных связей и искажений можно предупредить только правильным выбором конденсаторов $C_к$, $C_{ф.а}$, $C_{ф.с}$ и $C_э$, необходимые емкости которых могут быть рассчитаны методом, изложенным в § 4 гл. 3. На практике же часто применяют конденсаторы заведомо большой емкости. Так, например, в каскаде высокой и промежуточной частоты берут $C_к = C_{ф.а} = C_{ф.с} = C_э = 0{,}05 \div 0{,}1$ *мкф*, а в каскадах низкой частоты $C_к = C_{ф.а} = 2 \div 10$ *мкф* и $C_{ф.с} = C_э = 0{,}1 \div 0{,}5$ *мкф*.

Часто ячейки $R_{ф.с}C_{ф.с}$ и $R_{ф.а}C_{ф.а}$, особенно в первых каскадах усиления низкой частоты, служат одновременно для дополнительного сглаживания пульсаций питающих напряжений, получаемых от выпрямителя. Тогда в зависимости от остатка пульсации на выходе выпрямителя и от чувствительности каскада емкости конденсаторов увеличивают до десятков микрофарад.

Регулировка громкости обычно осуществляется на входе усилителя низкой частоты (рис. 4-59, *а*), причем

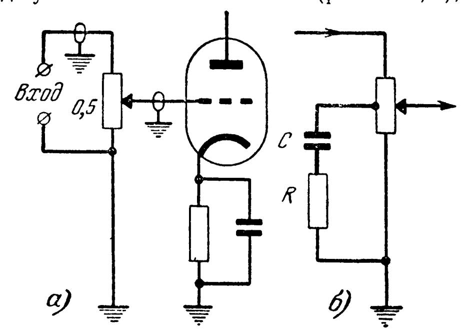


Рис. 4-59. Ручные регуляторы громкости.

а — на входе усилителя; *б* — с тонкомпенсацией.

ограничение амплитуды сигнала на первой же лампе обеспечивает при любой громкости наименьшие нелинейные искажения. Во избежание наводок фона переменного тока на провода, идущие к потенциометру, их экранируют.

Для достижения широкого диапазона регулирования громкости потенциометры, предназначенные специально для этой цели, имеют нелинейный закон изменения сопротивления и отличаются буквой «*В*» в обозначении типа (в начале вращения ручки сопротивление изменяется медленно, а потом быстрее).

Особенности слуха человека требуют подчеркивания низких звуков при малой громкости воспроизведения. Для автоматического решения этой задачи применяют так называемые регуляторы громкости с тонкомпенсацией. Простейший регулятор такого типа представляет собой потенциометр с отводом, к которому присоединяется тонкомпенсирующая цепочка, состоящая из последовательно соединенных конденсатора и сопротивления (рис. 4-59, *б*). Элементы этой цепи часто подбираются опытным путем в пределах $R = 5 \div 50$ *ком* и $C = 0{,}005 \div 0{,}05$ *мкф*.

Все регуляторы громкости включают в схему так, чтобы громкость возрастала при вращении ручки регулятора по часовой стрелке.

Регулировка усиления до детектора. Регулятор громкости, установленный после детектора, не может предотвратить перегрузку ламп усилителя высокой или промежуточной частоты, возникающую при приеме сильных сигна-

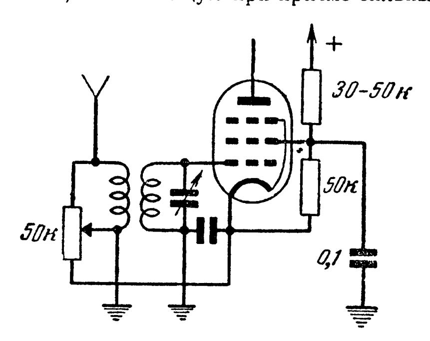


Рис. 4-60. Ручной регулятор усиления.

лов. В простейших приемниках в связи с этим иногда переносят регулятор громкости во входную цепь приемника. Одна из таких схем, в которой регулировка осуществляется одновременно путем шунтирования антенной цепи и изменением напряжения сеточного смещения лампы первого каскада, приведена на рис. 4-60.

Однако при этом пропадает возможность регулирования громкости при воспроизведении граммзаписи. Поэтому в современных приемниках, как правило, наряду с регулятором громкости в усилителе низкой частоты применяется независимая регулировка усиления до детектора. В целях упрощения управления приемником эта регулировка делается автоматической и называется автоматической регулировкой усиления.

Автоматическая регулировка усиления (АРУ). В приемниках с умеренным запасом усиления по высокой частоте АРУ в первую очередь служит для избежания чрезмерных амплитуд на сетках ламп (за исключением первой). Если же приемник располагает значительным усилением по высокой частоте, то дополнительная задача АРУ состоит в уравнивании громкости различных по силе приема передатчиков и в выравнивании колебаний силы приема, обусловленных замираниями и изменением условий приема.

Принцип осуществления АРУ состоит в использовании получающейся при детектировании высокочастотных колебаний постоянной составляющей напряжения в качестве напряжения смещения для предшествующих детектору ламп.

Для этого можно использовать напряжение на нагрузочном сопротивлении диодного детектора или устроить отдельный детектор для канала АРУ, причем в любом случае необходимо, чтобы выпрямленное напряжение имело относительно заземляющего провода отрицательную полярность.

Далее, напряжение АРУ должно быть свободно не только от высокочастотной пульсации, но и от колебаний

низкой частоты, которые получаются в результате детектирования модулированного сигнала.

Для этого полученное после диода напряжение пропускают через соответствующую ячейку фильтра *RC* (рис. 4-61, *а*) с постоянной времени около 0,1 *сек*. Сопротивление *R* оказывается введенным в цепи управляющих сеток регулируемых ламп и обычно не превосходит 1÷2 *Мом*, а емкость конденсатора *С* должна быть порядка 0,05—0,1 *мкф*.

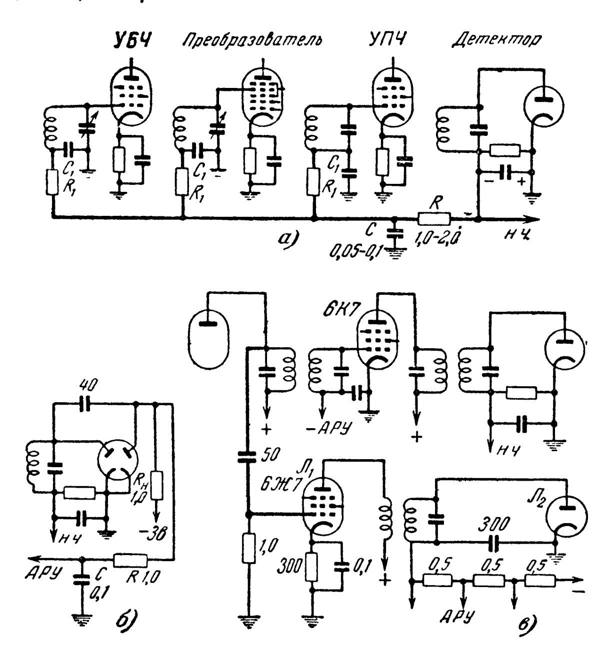


Рис. 4-61. Автоматическое регулирование усиления (АРУ). *а* — простое АРУ; *б* — задержанное АРУ; *в* — усиленное АРУ.

Увеличивать эту постоянную времени сверх 0,1 *сек*. нерационально, так как тогда система АРУ будет срабатывать с некоторым запаздыванием, что будет мешать выравниванию быстрых изменений слышимости при перестройке приемника и замираниях.

Из тех же соображений нерационально делать большую постоянную времени у дополнительных ячеек R_1C_1, служащих для взаимного развязывания сеточных цепей управляемых каскадов (у них постоянная времени не должна превышать 0,01 *сек*.).

Эффективность работы системы АРУ в значительной мере зависит от формы характеристик регулируемых ламп (она должна быть удлиненной, чтобы обеспечить изменение крутизны в широких пределах) и резко возрастает с увеличением числа регулируемых каскадов, почему напряжение АРУ подают обычно на сетки всех предшествующих детектору ламп.

Иногда напряжение АРУ подают и на сетку лампы первого каскада усилителя низкой частоты, однако это допустимо лишь при малых амплитудах сигнала на сетке лампы, так как иначе могут возникнуть нелинейные искажения.

Задержанное АРУ. Принцип его работы состоит в том, что при приеме слабых сигналов АРУ не работает вовсе и при этом усиление приемника максимально, а вступает оно в действие и начинает уменьшать усиление приемника лишь при сигналах, превышающих определенный минимальный уровень (порог срабатывания). Достигается это тем, что на анод диода АРУ подается небольшое отрицательное напряжение (2—3 *в*), которое запирает его, и ток начинает пропускаться диодом лишь при сигнале, превышающем эти 2—3 *в*.

Очевидно, что при такой системе АРУ для детектирования и регулировки усиления должны применяться два отдельных диода. Для схемы задержанного АРУ (рис. 4-61, *б*) и были выпущены лампы с двумя диодами (6Х2П, 6Г2, 6Б8С и др.).

Усиленное АРУ. Простое и задержанное АРУ не могут полностью уравнять громкость приема различных станций, если даже запас усиления приемника достаточен для того, чтобы любую из них, хотя бы и наиболее слабую, принимать с полной выходной мощностью.

Это объясняется тем, что уменьшить усиление приема более мощной станции можно лишь в том случае, если ее сигналы создадут на детекторе большее напряжение, позволяющее сильнее сместить влево по характеристике рабочие точки регулируемых ламп. Но это означает одновременное увеличение и составляющей напряжения низкой частоты на нагрузочном сопротивлении детектора. Но чтобы при приеме любых сигналов, превышающих, разумеется, порог чувствительности приемника, получать одинаковую громкость приема, после детектора должно получаться всегда одинаковое напряжение низкой частоты.

Это противоречие может быть решено только подачей регулирующего напряжения АРУ дополнительно и на каскады, следующие за диодом АРУ, в частном случае на первый каскад усилителя низкой частоты. Но поскольку такая мера может привести к появлению нелинейных искажений, в наиболее совершенных приемниках применяют другой принцип — усиленное АРУ.

Схема усиленного АРУ (рис. 4-61, *в*), кроме диода-выпрямителя $Л_2$, содержит каскад усиления промежуточной частоты на лампе $Л_1$, включенный параллельно последнему каскаду промежуточной частоты основного канала. На сетку лампы дополнительного усилителя регулирующее напряжение не подается, а в ее анодную цепь вместо полосового фильтра обычно включается одиночный контур. В связи с этим усиление в канале АРУ и напряжение, поступающее на диод АРУ, получаются больше усиления основного канала и напряжения на его детекторе. Выравнивание характеристики АРУ осуществляется подачей на различные каскады большей или меньшей части напряжения от нагрузочного сопротивления диода АРУ, для чего оно разбивается на секции.

Индикаторы настройки. Приемники, снабженные АРУ, имеют тот недостаток, что при настройке на несущую частоту передатчика по максимуму громкости трудно определить середину резонансной кривой. Поэтому в них часто применяют индикаторы точной настройки.

Индикатор тока в анодной цепи регулируемых ламп. Вследствие смещения рабочей точки напряжением АРУ уменьшается не только крутизна характеристик ламп, но и их анодный ток. Поэтому, включив в анодную цепь регулируемой лампы миллиамперметр, можно судить о точной настройке приемника по минимальному значению анодного тока. Этот тип индикаторов настройки применяется главным образом в профессиональных приемниках.

В настоящее время получил преобладающее распространение *электронно-оптический индикатор* напряжения после детектора. В качестве таких индикаторов, используют специальные электронно-световые лампы (например, 6Е5С). На управляющую сетку такой лампы подается отрицательное сглаженное постоянное напряжение, выделяющееся на нагрузочном сопротивлении диодного детектора (рис. 4-62). Сглаживание низкочастотной пульсации осуществляется ячейкой *RC* с постоянной времени порядка 0,05 *сек*.

Чтобы эта цепь не шунтировала нагрузочное сопротивление детектора, сопротивление *R* должно быть по возможности большим (обычно 1 *Мом*), следовательно, емкость конденсатора *С* должна составлять около 0,05 *мкф*.

Уменьшение постоянной времени приводит к проникновению на сетку индикатора низкочастотных колебаний, в результате чего края его теневого сектора расплываются, а излишнее увеличение замедляет реакцию индикатора, затрудняя точную настройку.

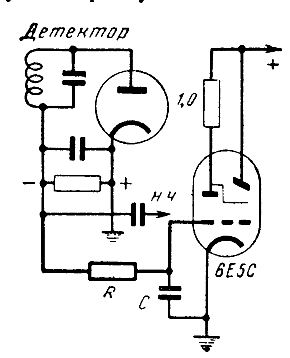


Рис. 4-62. Электронно-оптический индикатор настройки.

Автоматическая настройка и подстройка. Автоматическая, или фиксированная, настройка имеет целью упростить настройку приемника на наиболее часто принимаемые станции. Большей частью она осуществляется с помощью кнопочного механизма, включающего сменные контуры с фиксированной настройкой. Кнопки автоматической настройки снабжаются контактами, включающими в гетеродине и усилителе высокой частоты тот или иной комплект колебательных контуров, заранее настроенных для приема определенного передатчика (рис. 4-63).

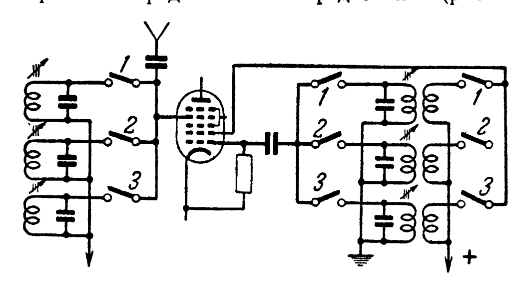


Рис. 4-63. Схема с контурами, настроенными на фиксированные частоты.

Эта система наиболее распространена и довольно часто осуществляется с некоторыми упрощениями (иногда сменяются только катушки, а конденсатор постоянной емкости используется один и тот же, в других случаях обходятся меньшим числом катушек, а сменяют конденсаторы).

В приемниках, имеющих в усилителе высокой частоты два резонансных контура, кнопочную настройку производят обычно только в одном из них, а другой при переходе с плавной настройки на автоматическую выключается вовсе. Это упрощает конструкцию приемника, облегчает первичную настройку кнопок и не слишком ухудшает параметры приемника, так как кнопочная настройка обычно применяется на близкие, хорошо слышимые станции, не требующие дополнительного усиления по высокой частоте и особенно высокой избирательности.

Очень редко применяются и более сложные методы автоматической настройки, например с помощью электродвигателя и др.

Для повышения точности настройки приемника при автоматической его настройке, а также для повышения устойчивости настройки на коротких волнах применяется автоматическая подстройка. Системой автоматической подстройки частоты снабжаются только приемники высшего класса.

Регулировка тембра. Регулирование тембра — это изменение частотной характеристики усилителя низкой частоты.

Регуляторы тембра осуществимы как в виде регулируемых фильтров, включенных в том или ином участке низкочастотного усилительного канала, так и в виде аналогичных фильтров в цепи отрицательной обратной связи. Когда требуются особенно широкие пределы регулирования зачастую в усилитель вводится специальный каскад, не дающий заметного усиления на средних частотах, но позволяющий получить как уменьшение, так и значительный подъем усиления на высших и низших частотах.

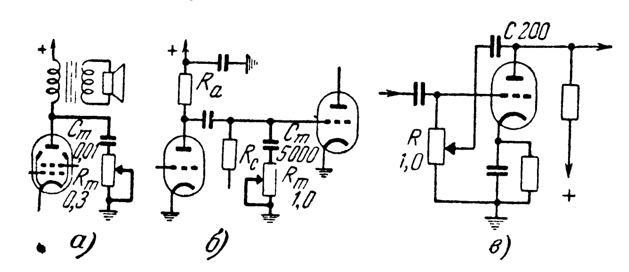


Рис. 4-64. Схемы регуляторов верхних частот.

В простых приемниках предусматривают регулировку тембра только за счет изменения усиления в области верхних частот. Чаще всего такой регулятор представляет собой последовательное соединение постоянного конденсатора C_m и переменного сопротивления R_m, подключаемых к первичной обмотке выходного трансформатора или к сеточной цепи любого из каскадов усилителя низкой частоты (рис. 4-64, *а* и *б*).

На рис. 4-64, *в* приведена схема регулятора верхних частот, основанная на применении отрицательной обратной связи. Малая емкость конденсатора С приводит к появлению обратной связи только на высших частотах, усиление которых ослабляется в тем большей мере, чем ближе к верхнему по схеме концу потенциометра *R* придвинут его ползунок.

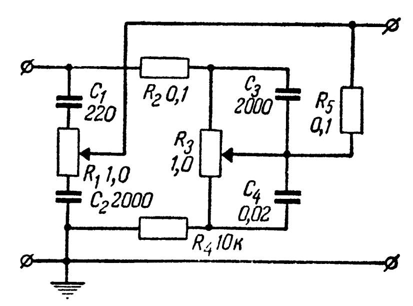


Рис. 4-65. Схема регулятора тембра с раздельным регулированием нижних и верхних частот.

В современных радиоприемниках все чаще применяют раздельную регулировку в области нижних и верхних частот, причем обеспечивают возможность как ослабления их, так и подъема. Две наиболее употребительные схемы таких регуляторов приведены на рис. 4-65 и 4-66.

Регулятор по схеме на рис. 4-65 включается между двумя каскадами усилителя низкой частоты. Благодаря малой емкости конденсаторов C_1 и C_2 на потенциометре R_1

выделяются в основном колебания высших частот. На потенциометре же R_3 из-за наличия блокирующих его плечи конденсаторов C_3 и C_4 напротив в основном выделяются колебания низших частот. Кроме того, соотношения между емкостями всех конденсаторов и сопротивлениями R_2 и R_4 обеспечивают передачу средних частот с ослаблением их напряжения примерно в 10 раз. Таким образом потенциометры R_1 и R_3 позволяют независимо регулировать передачу высших и низших частот, обеспечивая как подъем, так и срезание их относительно средних частот. Сопротивление R_5 уменьшает взаимное влияние регулировок.

Поскольку такой регулятор ослабляет средний уровень сигнала в 10 раз, то при его употреблении приходится вводить дополнительный каскад в усилитель низкой частоты.

В схеме на рис. 4-66 потенциометры включены между входной (*а*) и выходной (*б*) точками усилительного каскада на лампе $Л_2$, а их движки соединены с управляющей сеткой

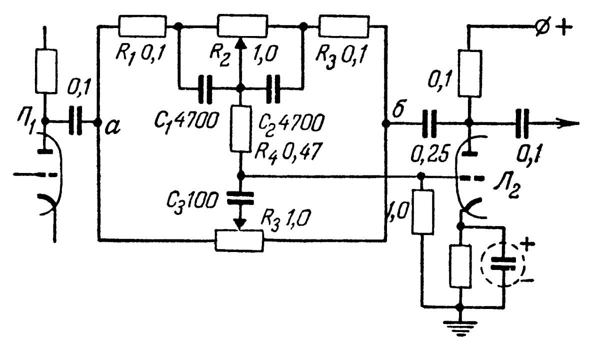


Рис. 4-66. Схема раздельной регулировки нижних и верхних частот с помощью обратной связи.

лампы $Л_2$. Таким образом перемещение движков слева направо (по схеме) приводит к введению отрицательной обратной связи и уменьшению усиления. Однако эта обратная связь осуществляется не на всех частотах. Потенциометр R_2 регулирует обратную связь, а следовательно и усиление, только на нижних частотах, ибо его плечи заблокированы конденсаторами C_1 и C_2. Потенциометр R_3 напротив, регулирует усиление только верхних частот, ибо напряжение с его движка передается на сетку лампы $Л_2$ через конденсатор C_3 малой емкости.

Усиление средних частот определяется обратной связью, зависящей от соотношения сопротивлений R_1 и R_3, и таким образом заранее ограничено. Поэтому при регулировке верхних и нижних частот можно получить как их ослабление, так и подъем.

В этой схеме, в отличие от предыдущих, потенциометры R_2 и R_3 должны иметь линейную зависимость сопротивления от угла поворота ручки.

Существует также много других схем регулировки тембра. Следует иметь в виду, что каскад, в котором производится регулировка тембра, не должен охватываться цепью отрицательной обратной связи.

4-11. Питание приемно-усилительной аппаратуры

Питание нитей накала. *Питание постоянным током.* Лампы малогабаритной серии с двухвольтовым накалом требуют батареи из двух последовательно соединенных элементов или одного двухвольтового аккумулятора, а пальчиковые лампы рассчитаны на питание от одного сухого элемента напряжением 1,4 *в* и сохраняют работоспособность при снижении напряжения накала до 1—0,9 *в*.

Обычно нити накала ламп приемника соединяют параллельно и питание их производится от общей батареи накала.

У ламп с одинаковым током накала можно соединять нити накала последовательно. Тогда необходимое напряжение накала определяется суммой напряжений всех последовательно соединенных нитей. Например, лампы с расходом тока по 0,2 *а* и напряжениями накала 4, 2 и 2 *в* потребовали бы общего напряжения накала 8 *в*. Последовательное питание нитей выгодно в тех случаях, когда в распоряжении имеется источник накала с напряжением настолько большим, что в противном случае его пришлось бы снижать искусственно.

Питание переменным током. В аппаратуре, предназначенной для питания от сети переменного тока, применяются почти исключительно лампы с косвенным накалом, так как питание переменным током катода прямого накала обычно вызывает появление сильного фона.

Прямой накал допустим лишь в оконечных лампах и то при достаточно толстых нитях накала. При этом для присоединения к катоду должна использоваться средняя точка нити накала, которую создают искусственно с помощью отвода от середины накальной обмотки силового трансформатора *Тр* (рис. 4-67, *а*) или с помощью сопротивления *R* (рис. 4-67, *б*). Последнее делают переменным, чтобы точнее найти среднюю точку (по минимуму фона). Величина сопротивления выбирается так, чтобы ток через него не превышал 10% тока накала нити лампы, т. е.

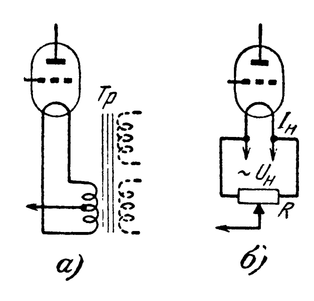


Рис. 4-67. Питание переменным током катодов прямого накала.

$$R \geqslant \frac{10U_н}{I_н}.$$

В приемниках, предназначенных для питания только переменным током, нити ламп почти всегда включаются по схеме параллельного питания.

Универсальное питание. Чтобы питать нити накала ламп непосредственно от осветительной сети, нужны лампы с косвенным накалом и дополнительное сопротивление (рис. 4-68). При таком бестрансформаторном питании

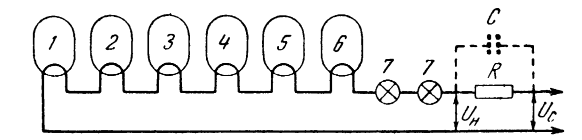


Рис. 4-68. Схема универсального питания цепи накала. *1* — лампа детекторного каскада и предварительного каскада низкой частоты; *2* — лампа преобразовательного каскада; *3* — лампа каскада высокой частоты; *4* — лампа каскада промежуточной частоты; *5* — лампа оконечного каскада низкой частоты; *6* — кенотрон; *7* — лампочки для освещения шкалы.

от сети применяется только последовательное соединение нитей накала, причем напряжение накала каждой отдельной лампы может быть каким угодно, но все они должны потреблять одинаковый ток. Род тока, разумеется, при этом не играет никакой роли.

В современных приемниках всегда предусматриваются лампочки для освещения шкалы. При универсальном питании осветительные лампочки выбирают с несколько большим расходом тока, чем у нитей ламп (чтобы предотвратить их быстрое сгорание).

Для поглощения излишка напряжения нужно включить сопротивление R (рис. 4-68), величина которого определяется по формуле

$$R = \frac{U_c - U_н}{I_н}, \tag{4-27}$$

где U_c — напряжение сети;

$U_н$ и $I_н$ — соответственно полное напряжение накала всех ламп приемника и ток накала.

На практике рассчитывается сопротивление для сети с наибольшим напряжением (220 *в*) и от него делаются отводы для включения в сеть с меньшим напряжением (110, 127 *в*).

П р и м е р. Приемник универсального питания содержит две лампы по 30 *в* (в сумме 60 *в*), три лампы по 6,3 *в* (в сумме 19 *в*) и две лампы для освещения шкалы по 13,5 *в* (в сумме 27 *в*). Итого 106 *в*. Наибольшее напряжение сети равно 240 *в*, а ток накала всех соединенных последовательно ламп составляет 0,3 *а*. Требуется рассчитать добавочное сопротивление и предусмотреть отводы от него для питания приемника при напряжениях сети 110, 127 и 220 *в*.

По формуле (4-27) находим

$$R = \frac{240 - 106}{0,3} = 450 \text{ ом}.$$

Отводы

1) $R_1 = \frac{110 - 106}{0,3} = 13 \text{ ом};$

2) $R_2 = \frac{127 - 106}{0,3} = 70 \text{ ом};$

3) $R_3 = \frac{220 - 106}{0,3} = 380 \text{ ом}.$

Вместо добавочного сопротивления R, бесполезно расходующего мощность, иногда включают конденсатор C; в этом случае, разумеется, питать приемник от сети постоянного тока нельзя. Емкость конденсатора (в микрофарадах) определяется по формуле

$$C = \frac{15,9 \cdot 10^4}{f_c X}, \tag{4-28}$$

где f_c — частота тока питающей сети (обычно $f_c = 50$ *гц*), а

$$X = \sqrt{R\left(\frac{2U_c}{I_н} - R\right)} \tag{4-29}$$

(оно должно быть больше, чем рассчитанное R, так как емкостное сопротивление конденсатора складывается с активным сопротивлением нитей накала геометрически).

Наряду с постоянными добавочными сопротивлениями для поглощения излишка напряжения в цепи накала и для одновременной стабилизации тока накала ламп при колебаниях питающего напряжения в приемниках универсального питания применяются стабилизаторы (см. стр. 56).

Стабилизатор тока (бареттер), должен выбираться в соответствии с номинальным током накала ламп и пределами падающего на нем напряжения при колебаниях напряжения сети. Эти величины указываются непосредственно в марке бареттера: стоящее впереди буквы Б число означает стабилизируемый ток (в амперах), а два числа через черточку после буквы Б обозначают пределы допустимого падения напряжения на бареттере. Так, например, бареттер типа 0,3Б17-35 рассчитан на 0,3 *а* и работает при падении на нем напряжения в пределах от 17 до 35 *в*.

Питание анодных цепей. *Питание от батарей.* Анодное напряжение дает батарея, составленная из многих включенных последовательно элементов. В зависимости от схемы приемник может требовать одного или сразу нескольких различных анодных напряжений. В связи с этим, а также для возможности экономичного использования батареи многие анодные батареи секционируют, т. е. снабжают отводами на различные части полного напряжения.

Для питания радиоаппаратуры можно ограничиться только низковольтным аккумулятором; в этом случае анодное напряжение возможно получать от преобразователя, питающегося низковольтным источником питания цепи накала. В качестве таких преобразователей в последнее время стали применяться в основном преобразователи постоянного тока на транзисторах (стр. 111) взамен уступающих им по экономичности и надежности вибропреобразователей.

Питание от сети переменного тока. Сетевая аппаратура переменного тока большей частью снабжается кенотронными или полупроводниковыми выпрямителями. От них же получают (через добавочные сопротивления или делители напряжения) отдельные более низкие, чем анодное, напряжения (на экранирующие сетки ламп и на предварительные каскады). Хотя делитель напряжения расходует больший ток, чем добавочное сопротивление, но он поддерживает с большим постоянством напряжение при колебаниях тока нагрузки. Поэтому, в частности, для питания экранирующих сеток ламп, работающих при переменном сеточном смещении (в схеме АРУ), а также в измерительной аппаратуре, где необходимо наибольшее постоянство всех напряжений, предпочтение надо отдавать делителям.

При питании аппарата от сети переменного тока особое значение приобретает фильтрация выпрямленного напряжения, так как недостаточное его сглаживание приводит к появлению в усиливаемых сигналах фона переменного тока. Эффективность работы всякого фильтра зависит не только от значения емкости его конденсаторов и индуктивности дросселей, но и от сопротивления его нагрузки, т. е. от величины тока через фильтр. При малом расходе тока (до 5—10 *ма*) достаточно хорошее сглаживание может обеспечить одиночный конденсатор емкостью 5—10 *мкф* Но если имеется мощный каскад усиления низкой частоты. потребляющий несколько десятков миллиампер, то уже необходим П-образный фильтр с дросселем.

Таким образом, характер сглаживающего пульсацию фильтра определяется общим расходом анодного тока и поэтому в сильной мере зависит от мощных каскадов, потребляющих наибольший ток. Сам же уровень допустимой пульсации после фильтра определяется, как правило маломощными предварительными каскадами, наиболее чувствительными к колебаниям анодного напряжения Чтобы не слишком увеличивать емкость конденсаторов общего фильтра, последний обычно рассчитывается на снижение пульсации до величины допустимой для основной массы каскадов (до 0,1% от величины полного анодного напряжения), а наиболее чувствительные к фону каскады питают через дополнительные сглаживающие RC ячейки

Приемники универсального питания отличаются отсутствием силового трансформатора. При этом анодное напряжение получают непосредственным выпрямлением напряжения сети. Иногда при питании от сети переменного тока напряжением 120 *в* применяют схему выпрямителя с удвоением напряжения (см. рис. 3-60, *в*), которая при переходе на напряжение сети 220 *в* заменяется обычной однополупериодной схемой.

Питание сеток. *Питание от батарей.* Чаще всего в современной батарейной аппаратуре напряжение сеточного смещения получают, как и в сетевой, от сопротивления в минусовом проводе цепи анодного тока. Если применяется фиксированное смещение, то используют для этой цели отвод от первых одного-трех элементов анодной батареи.

Автоматическое смещение при лампах прямого накала может быть осуществлено лишь с помощью сопротивления,

включенного в общую анодную цепь всех ламп. При необходимости иметь различные напряжения смещения для разных ламп устраиваются от соответствующих частей этого сопротивления отводы (рис. 4-69) или же оно составляется из нескольких отдельных сопротивлений. Полное сопротивление смещения и точки отводов от него рассчитываются, как обычно, по формуле

$$R = \frac{U_{c0}}{I_a},$$

где I_a — ток в анодной цепи приемника;

U_{c0} — соответствующее напряжение смещения.

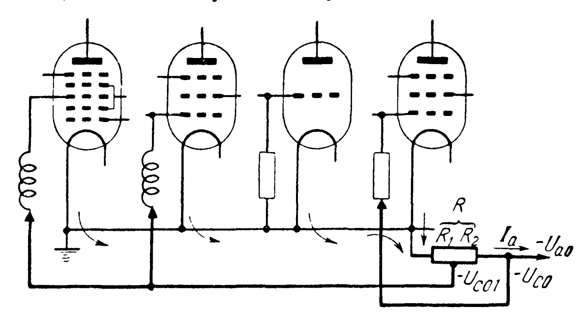


Рис. 4-69. Получение сеточного смещения от анодного тока.

Пример. Анодный ток приемника $I_a = 8$ *ма* $= 0{,}008$ *а*. Необходимо получить напряжения смещения $U_{c0} = 4{,}5$ *в* и $U_{c01} = 0{,}5$ *в*. Какое нужно для этого сопротивление в анодной цепи?

Полное сопротивление (для обеспечения смещения 4,5 *в*) должно быть

$$R = \frac{U_{c0}}{I_a} = \frac{4{,}5}{0{,}008} = 560 \text{ ом},$$

а участок, создающий напряжение 0,5 *в* (отвод на сопротивлении).

$$R_1 = \frac{U_{c01}}{I_a} = \frac{0{,}5}{0{,}008} = 63 \text{ ом}.$$

Сетевое питание. При сетевом питании аппаратуры фиксированное сеточное смещение требует сооружения специального выпрямителя. Чтобы не усложнять конструкции приемника введением в схему еще одного выпрямителя, к такому способу создания смещения прибегают только при необходимости получить строго постоянное напряжение смещения, не зависящее от колебаний анодного тока, например, в усилителях класса AB_2 или B. В остальных случаях устраивают автоматическое смещение, которое при подогревных катодах может быть получено или от сопротивления в общей анодной цепи всех ламп, как это было изложено выше, или от индивидуальных сопротивлений в катодных цепях отдельных ламп (например, $R_к$ на рис. 4-58).

В последнем случае расчет индивидуального катодного сопротивления производится по формуле

$$R_к = \frac{U_{c0}}{I_{к0}},$$

где $I_{к0}$ — катодный ток данной лампы.

Следует иметь в виду, что в случае больших нагрузочных сопротивлений, например усилителей на сопротивлениях, этот ток не равен статическому значению, указанному в паспортах ламп, а во много раз меньше его. Кроме того, у многосеточных ламп катодный ток представляет сумму анодного тока, тока экранирующей сетки и прочих электродов, находящихся под положительным потенциалом относительно катода. Эти токи для различных режимов могут быть определены из характеристик ламп или взяты из справочных таблиц.

При оконечных лампах с прямым накалом катодное сопротивление присоединяют к средней точке накальной обмотки силового трансформатора или специального потенциометра.

В двухтактных схемах для выравнивания анодных токов обоих плеч усилителя с целью компенсации постоянной составляющей в первичной обмотке выходного трансформатора применяют схему, приведенную на рис. 4-70, в которой потенциометр R позволяет так подобрать смещение для ламп каждого плеча, чтобы анодные токи ламп сбалансировались.

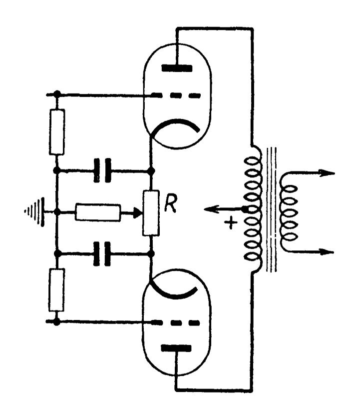


Рис. 4-70. Сбалансированная схема автоматического смещения в двухтактном усилителе.

4-12. Применение транзисторов в приемно-усилительной аппаратуре

Общие замечания. На пути внедрения транзисторов в радиовещательные приемники стоят определенные трудности, связанные со сложной частотной зависимостью характеристик транзисторов, с их температурной нестабильностью и др.

Поэтому прежде всего транзисторы находят применение там, где основные их достоинства — малые размеры и высокая экономичность оказываются решающими. Это — слуховые аппараты, переносные (в том числе «карманные») приемники и батарейные приемники для неэлектрифицированной местности. Для повышения экономичности радиоприемников, питаемых от батарей или аккумуляторов, иногда лампы заменяются транзисторами только в усилителе низкой частоты, выходной каскад которого расходует наибольшую мощность, а также вместо вибропреобразователей вводятся преобразователи постоянного тока на транзисторах.

В рамках настоящей книги нет возможности столь же подробно рассмотреть отдельные элементы схем приемников на транзисторах, как это сделано для ламповых приемников, и ниже мы ограничимся лишь кратким описанием принципов действия нескольких практических схем на транзисторах.

Общий принцип действия незнакомой схемы с транзистором часто можно уяснить, если мысленно заменить транзистор трехэлектродной лампой, причем вместо эмиттера, базы и коллектора иметь в виду соответственно катод, управляющую сетку и анод трехэлектродной лампы.

Слуховой аппарат. На рис. 4-71 приведена принципиальная схема слухового аппарата, состоящего из четырехкаскадного усилителя низкой частоты. Транзисторы

во всех каскадах включены по схеме с общим эмиттером. сигнал прикладывается к электродам база — эмиттер (в первом каскаде для этого служит конденсатор C_1), а снимается с электродов коллектор—эмиттер. Связь между первым и вторым транзисторами непосредственная, а между последующими каскадами реостатно-емкостная.

Первые три транзистора работают при токах эмиттера порядка 0,2 *ма*, а последний (T_4) — при токе 0,4 *ма*.

Две наиболее распространенные схемы питания транзистора от одной батареи приведены на рис. 4-72. Поскольку для работы транзистора в качестве усилителя эмиттерный *p-n* переход надо смещать в прямом направлении, а коллекторный в обратном, это оказывается возможным при соединении базы через сопротивление $R_б$ (рис. 4-72, *а*), с тем же полюсом батареи $E_к$, к которому

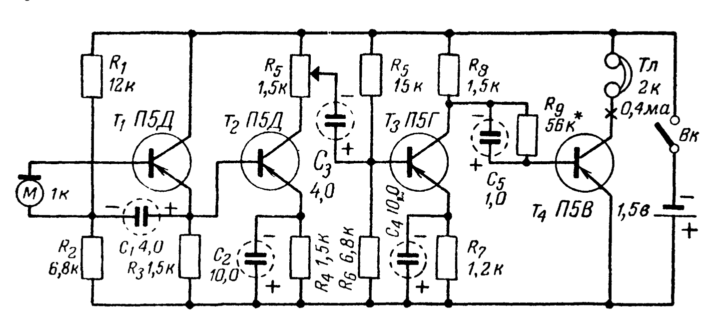


Рис. 4-71. Принципиальная схема слухового аппарата.

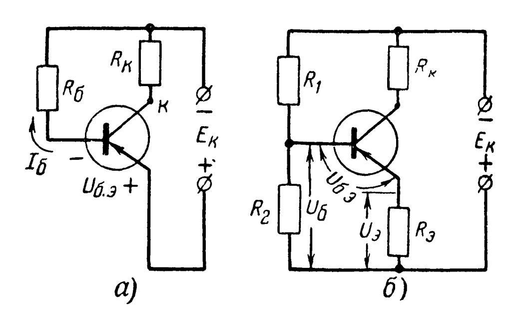


Рис. 4-72. Две схемы питания транзистора от одной батареи.

присоединяется коллекторная цепь транзистора. Так как напряжение $U_{б.э}$ на *p-n* переходе, смещенном в прямом направлении, мало (порядка 0,1—0,2 *в*), то практически все напряжение источника питания $E_к$ падает на сопротивлении $R_б$ и таким образом схема на рис 4-72, *а* обеспечивает питание транзистора фиксированным значением тока базы

$$I_б \approx \frac{E_к}{R_б}. \tag{4-30}$$

Однако в силу присущего современным транзисторам большого разброса по значениям коэффициента усиления по току β в схеме с общим эмиттером, ток коллектора у разных транзисторов при одних и тех же значениях $E_к$ и $R_б$ получается разным, и рабочая точка на семействе выходных статических характеристик занимает случайное положение. При питании транзистора по схеме на рис. 4-72, *а* для установки желаемого тока коллектора часто приходится подбирать необходимую величину сопротивления $R_б$ опытным путем при налаживании схемы.

Примерно по такой схеме осуществляется питание транзистора T_4 в усилителе на рис. 4-72, причем сопротивление R_9, уточняемое при налаживании, отмечено звездочкой. При подборе этого сопротивления последовательно с телефонами *Тл* включают миллиамперметр.

Для упрощения налаживания схем с транзисторами часто применяют более сложную схему подачи питания (рис. 4-72, *б*), которая обеспечивает автоматическую стабилизацию рабочей точки по заданному значению тока эмиттера. В этой схеме при помощи делителя состоящего из сопротивлений R_1 и R_2 базе транзистора придают некоторый фиксированный потенциал, причем напряжение $U_б$ на нижнем плече делителя выбирается не менее 0,5—1 *в*, т. е. значительно больше напряжения $U_{б.э}$, падающего на эмиттерном *p-n* переходе транзистора. При этом основная часть напряжения $U_б$ передается на включенное в цепь эмиттера сопротивление $R_э$, т. е.

$$U_э = U_б - U_{б.э} \approx U_б.$$

Таким образом ток в цепи эмиттера практически определяется схемными элементами

$$I_э = \frac{U_э}{R_э} \approx \frac{U_б}{R_э} \tag{4-31}$$

и перестает существенно зависеть от индивидуальных характеристик транзистора.

Ток коллектора мало отличается от тока эмиттера, значит схема на рис. 4-72, *б* позволяет стабилизировать положение рабочей точки на семействе выходных характеристик транзистора.

Хорошая стабилизация рабочей точки при помощи схемы на рис. 4-72, *б* достигается за счет увеличения тока, расходуемого на питание делителя в цепи базы, и снижения напряжения, поступающего на транзистор из-за введения сопротивления $R_э$. Поэтому схему на рис. 4-72, *б* применяют главным образом в предварительных каскадах усилителей.

В схеме описываемого слухового аппарата (рис. 4-71) она использована в первом и третьем каскадах.

Второй транзистор по существу стабилизирован этим же способом, но вместо отдельного делителя для придания его базе фиксированного потенциала применена непосредственная связь его базы с эмиттером предшествующего транзистора.

Сопротивление, включаемое в цепь эмиттера, создает отрицательную обратную связь по току, которая собственно и определяет стабилизирующее действие схемы на рис. 4-72, *б*. Однако эта обратная связь может привести и к нежелательному уменьшению усиления. Для предотвращения этого стабилизирующие сопротивления в цепях эмиттеров часто блокируют конденсаторами большой емкости, уменьшающими сопротивление обратной связи на частотах усиливаемых сигналов. Этой цели служат конденсаторы C_2 и C_4 во втором и третьем каскадах усилителя (рис. 4-71).

Потенциометр R_5 является регулятором громкости.

Усилитель слухового аппарата рассчитан на работу с электромагнитными телефонами сопротивлением 2 *ком* по постоянному току и электромагнитным микрофоном с сопротивлением 1 *ком* (по постоянному току). Полный расход тока не превышает 1,5 *ма* и обеспечивает работу от одного элемента типа ФБС-0,25 в течение 200 *ч*.

Усилитель для переносного радиограммофона. Усилитель, принципиальная схема которого приведена на рис. 4-73, предназначен для воспроизведения как обычных, так и долгоиграющих граммпластинок и может быть установлен в пружинном патефоне вместо акустической мембраны. Питание его осуществляется от двух последовательно соединенных батареек карманного фонаря, запаса энергии которых достаточно для работы усилителя в течение 30—50 *ч*.

Первый каскад осуществлен по схеме с общим эмиттером и реостатно-емкостной связью. Для повышения входного сопротивления усилителя (универсальные пьезоэлектрические звукосниматели нормально работают при сопротивлении нагрузки порядка 0,5 *Мом*) введено сопротивление R_1.

Второй транзистор работает в схеме предоконечного каскада, который с помощью трансформатора $Тр_1$ возбуждает двухтактный оконечный каскад.

Потенциометр R_6 служит для регулирования громкости. Для транзисторных схем типичным является обратное включение потенциометров (рис. 4-74, *б*). Это связано с тем, что входное сопротивление транзисторов мало. При этом эффективная регулировка по обычной схеме (рис. 4-74, *а*) требует применения весьма низкоомных потенциометров, в которых будет расходоваться значительная часть мощности усиливаемого сигнала. При обратном же включении (рис. 4-74, *б*) перемещение движка потенциометра вниз по схеме приводит как к введению верхней части потенциометра последовательно со входным сопротивлением следующего транзистора, так и к уменьшению сопротивления нижней части, являющейся сопротивлением нагрузки предыдущего транзистора. В результате уменьшается не только передача сигнала от первого транзистора ко второму, но и усиление первого транзистора.

Цепь C_4R_7 (рис. 4-73) является тонкомпенсирующей цепью отрицательной обратной связи, снижающей усиление на средних и верхних частотах. Этим достигается коррекция, необходимая для компенсации вводимого при записи граммпластинок «завала» нижних частот.

Потенциометр R_5 совместно с конденсатором C_5 образует ручной регулятор тембра, позволяющий ослаблять усиление верхних частот, что улучшает качество звучания пластинок с повышенным шипением. Принцип построения этого регулятора вполне аналогичен рассмотренному выше (рис. 4-64, *в*) регулятору в ламповом усилителе.

Оконечный каскад представляет собой двухтактный трансформаторный усилитель класса В, отличающийся наибольшей экономичностью.

Работа транзисторов в классе В напоминает работу в классе В правых трехэлектродных ламп (рис. 4-46, *б*), если напряжение на управляющей сетке U_c заменить напряжением базы $U_б$, а анодный ток I_a — током коллектор $I_к$.

В связи с тем, что соответствующая статическая характеристика транзистора (рис. 3-76) имеет нижний загиб при напряжении на базе порядка 0,1 *в*, для уменьшения нелинейных искажений при малых сигналах полезно вводить небольшое начальное смещение. Во избежание больших потерь мощности в схеме на рис. 4-73 это начальное смещение порядка 0,1 *в* создается не с помощью индивидуального делителя, а за счет общего тока предшествующих каскадов, проходящего через сопротивление R_9.

Сопротивление R_8 вместе с конденсатором C_2 образуют развязывающий фильтр, предотвращающий проникновение в предшествующие каскады колебаний питающего напряжения, вызываемых сильными изменениями тока оконечного каскада при работе усилителя.

Небольшое сопротивление R_{10} в цепи эмиттеров оконечного каскада содействует стабилизации его режима.

Конденсатор C_7, блокирующий батарею, уменьшает колебания питающего напряжения при больших импульсах тока оконечного каскада и позволяет лучше использовать емкость батареи. Дело в том, что большие импульсы тока у каскадов, работающих в классе В возникают лишь на пиках громкости. По мере разряда батареи, ее внутреннее сопротивление возрастает и начинает ограничивать эти пики, что проявляется в виде искажений звука и снижения максимальной выходной мощности усилителя. При наличии же конденсатора большой емкости C_7 напряжение на нем не успевает заметно упасть во времени кратковременного пика тока.

Конструктивный расчет низкочастотных трансформаторов для схем с транзисторами не отличается от описанного выше случая ламповых схем.

Рис. 4-73. Принципиальная схема усилителя для радиограммофона ($P_{вых} = 0,2$ *вт*).

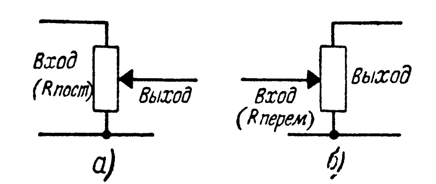


Рис. 4-74. Прямое (*а*) и обратное (*б*) включение потенциометра.

Необходимые электрические характеристики (индуктивность первичной обмотки и коэффициент трансформации) также могут быть рассчитаны по формулам (4-14) и (4-15).

Что же касается оптимального сопротивления нагрузки, пересчитанного в первичную обмотку выходного трансформатора $R'_н$, то для любых типов транзисторов в выходном каскаде класса А его можно определить по заданной величине выходной мощности $P_{вых}$ как

$$R'_н = \frac{U^2_{к0}}{2,5P_{вых}}, \tag{4-32}$$

где $U_{к0}$ — напряжение питания между коллектором и эмиттером в выбранной рабочей точке, причем ток коллектора в этой рабочей точке должен составлять

$$I_к = \frac{U_{к0}}{R'_н}. \tag{4-33}$$

Для двухтактного усилителя класса В, пересчитанное на оба плеча оптимальное сопротивление нагрузки выражается той же формулой (4-32), но ток покоя $I_к$ выбирается малым (1—2 *ма*) за счет небольшого (около 0,1 *в*) начального смещения.

Супергетеродинный приемник с питанием от батарей. На рис. 4-75 приведена типовая принципиальная схема супергетеродинного радиовещательного приемника на транзисторах.

Входной колебательный контур приемника образует катушка L_2, намотанная на ферритовом стержне *ФА*, с конденсатором переменной емкости C_2 и подстроечным конденсатором C_1. При использовании внешней антенны последняя включается в гнездо *А* и связывается со входным контуром посредством катушки L_1, намотанной на том же стержне.

Воспринятый антенной сигнал передается во входную цепь первого транзистора с помощью катушки L_3, индуктивно связанной со входным контуром. Условия максимальной передачи мощности сигнала на вход транзистора возникают при такой связи с транзистором, которая приводит к снижению добротности входного колебательного контура вдвое (при этом внесенное со стороны транзистора в колебательный контур сопротивление равно собственному активному сопротивлению входного колебательного контура). Такая связь в диапазонах средних и длинных волн обеспечивается при числе витков катушки L_3 в 10—20 раз меньшем числа витков контурной катушки L_2.

Первый транзистор T_1 работает в схеме автодинного преобразователя астоты, т. е. одновременно выполняет

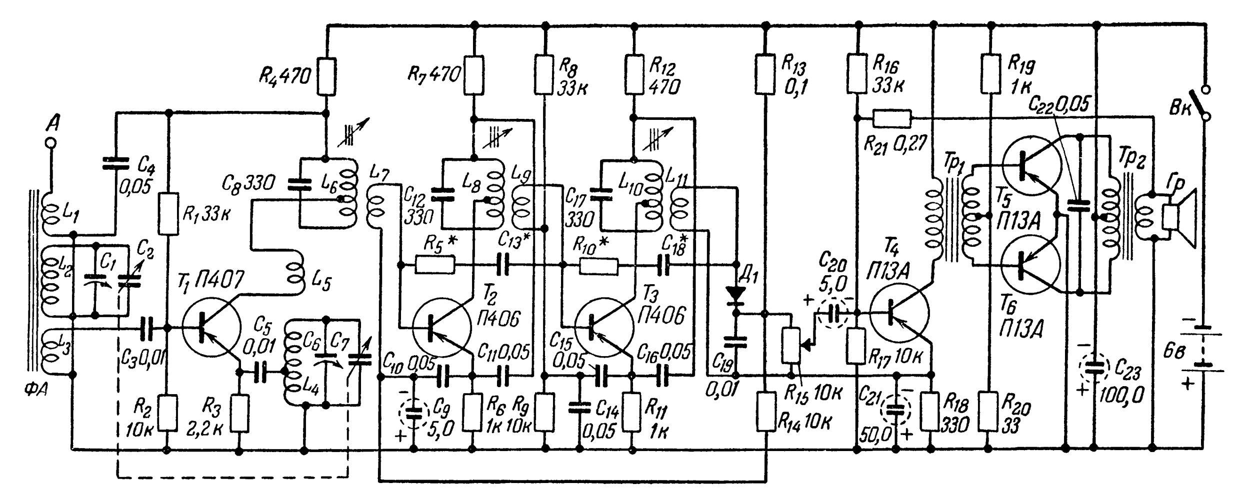


Рис. 4-75. Принципиальная схема супергетеродинного приемника на транзисторах.

функции смесителя и гетеродина. Исходная рабочая точка транзистора T_1 создается при помощи схемы с делителем в цепи базы (рис. 4-72, *б*), причем ток эмиттера выбирается порядка 0,5 *ма*.

Колебательный контур гетеродина состоит из катушки L_4 и конденсаторов C_6 и C_7 и автотрансформаторно связан с эмиттерной цепью транзистора через конденсатор C_5, разделяющий пути постоянной и переменной составляющих эмиттерного тока. В цепь коллектора транзистора T_1 введена катушка обратной связи L_5. Нормальные условия генерации обеспечиваются при введении в цепь эмиттера всего лишь нескольких (3—8) витков катушки L_4. Катушка обратной связи L_5 обычно содержит в 5—6 раз больше витков и концы ее должны включаться так, чтобы обратная связь была положительной.

Для выделения колебаний промежуточной частоты в цепь коллектора транзистора последовательно с катушкой обратной связи L_5 включен первый колебательный контур L_6C_8, настроенный на промежуточную частоту. Связь транзистора T_1 с этим колебательным контуром неполная автотрансформаторная. Это позволяет уменьшить шунтирующее действие выходной проводимости транзистора T_1 и получить необходимую для обеспечения заданной избирательности добротность контура L_6C_8.

При помощи катушки связи L_7 энергия колебаний промежуточной частоты передается во входную цепь следующего транзистора T_2, работающего в качестве усилителя промежуточной частоты.

Следует напомнить, что режим использования колебательных контуров в приемниках на транзисторах существенно отличается от использования их в ламповых приемниках. В последних колебательные контуры, как правило, не шунтируются заметными активными проводимостями и сохраняют в схеме практически ту же добротность, что и вне схемы («холостую добротность»). При этом резонансные свойства колебательного контура придают ламповому усилителю избирательность и холостая добротность колебательного контура выбирается в соответствии с требуемой полосой пропускаемых частот (см. стр. 49).

В схемах же с транзисторами колебательный контур служит не только для создания избирательных свойств, но и для определенного согласования выходного сопротивления предшествующего транзистора со входным сопротивлением следующего транзистора, чем достигается большое усиление мощности сигнала. В таком режиме колебательный контур используется наподобие согласующего трансформатора (рис. 4-76), с пересчитанным к первичной обмотке сопротивлением нагрузки $R'_н$, равным внутреннему сопротивлению генератора сигнала, в качестве которого выступает активная составляющая выходного сопротивления предшествующего транзистора. Этот вопрос более подробно уже был рассмотрен в гл. 3 (стр. 50), причем была показана целесообразность применения колебательных контуров с возможно более высокой холо-

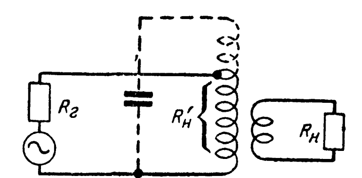


Рис. 4-76. Колебательный контур — согласующий трансформатор.

стой добротностью независимо от требуемой полосы пропускания, ибо последняя будет определяться шунтирующим действием транзисторов.

Обычно выходное сопротивление транзисторов в усилителях промежуточной частоты 465 *кгц* составляет 15—30 *ком*, а входное 500—2000 *ом*. Поэтому отношение числа витков, введенных в цепь коллектора, к числу витков катушки связи со следующим транзистором имеет порядок 5 : 1. В цепь коллектора вводят от 30 до 100% полного числа витков контурной катушки.

Однако полное удовлетворение приведенных выше соображений требует точного соблюдения инженерного

расчета колебательных контуров и их связи как с предшествующим, так и со следующим транзистором.

Транзисторы T_2 и T_3 работают в двух каскадах усиления промежуточной частоты по однотипной схеме. Характерной особенностью этих каскадов является наличие нейтрализующих цепочек R_5C_{13} и $R_{10}C_{18}$.

Дело в том, что наличие внутренней обратной связи у транзисторов может приводить к неустойчивому усилению и даже к самовозбуждению резонансных усилителей. Внутренняя обратная связь в транзисторах носит комплексный характер, поэтому для ее нейтрализации в общем случае применяют комбинацию из конденсатора и сопротивления, которые часто приходится подбирать индивидуально для каждого транзистора при настройке приемника. Для обеспечения обратной фазы сигнала, вводимого в цепь нейтрализации, в схеме приемника на рис. 4-75 усиленный сигнал берется с обмоток связи L_9, L_{11}.

Нагрузкой последнего колебательного контура промежуточной частоты $C_{17}L_{10}$ является индуктивно связанная с ним схема диодного детектора. Потенциометр R_{15} служит для регулирования громкости приема и сигнал с него подается на двухкаскадный усилитель низкой частоты с двухтактным выходным каскадом в классе В.

Усилитель низкой частоты охвачен отрицательной обратной связью с помощью сопротивления R_{21}.

Приемник снабжен системой АРУ. С этой целью в цепь питания базы транзистора T_2 первого каскада усиления промежуточной частоты вводится постоянная составляющая напряжения на нагрузке детектора. Исходный потенциал базы транзистора T_2 определяется постоянным напряжением, получаемым на сопротивлении R_{18} за счет эмиттерного тока транзистора T_4. Этот потенциал передается на базу транзистора T_2 через сопротивление R_{15} и R_{14}. Для того, чтобы небольшое падение постоянного напряжения на сопротивлении R_{15} за счет тока базы транзистора T_2 не приводило к запиранию диода детектора, через сопротивление R_{15} пропускают с помощью сопротивления R_{13} компенсирующий ток встречного направления.

При приеме сильных сигналов на сопротивлении R_{15} наряду с низкочастотным сигналом появляется постоянная составляющая напряжения, которая вводится в цепь базы транзистора T_2 с полярностью, встречной исходному напряжению смещения. Это приводит к уменьшению отрицательного напряжения базы и соответственно — тока эмиттера транзистора T_2. Переменные составляющие фильтруются цепочкой $R_{14}C_9$.

Изменение рабочей точки транзистора сравнительно мало влияет на усилительные характеристики самого транзистора, но сильно изменяет входное и выходное сопротивление его, а значит и условия согласования с колебательными контурами и соседними транзисторами. Возникающее при этом рассогласование и является основным фактором, обеспечивающим эффективность АРУ. Поэтому в приемниках на транзисторах особенно важно производить настройку колебательных контуров усилителя промежуточной частоты при отключенной системе АРУ (в схеме на рис. 4-75 для этого достаточно верхний конец сопротивления R_{14} пересоединить к нижнему концу потенциометра R_{15}).

Преобразователь постоянного напряжения. Вместо применявшихся ранее для получения анодного напряжения от низковольтных источников постоянного тока вибропреобразователей находят все более широкое применение аналогичные преобразователи на транзисторах. Им свойственны высокая экономичность и надежность работы, возможность работы на повышенных частотах (единицы — десятки килогерц), причем существенно облегчается сглаживание пульсаций. Такие преобразователи находят применение для питания ламповых батарейных и автомобильных приемников, для питания анодных цепей ламповых каскадов в комбинированных лампово-транзисторных приемниках.

На рис. 4-77 приведена принципиальная схема преобразователя с одним транзистором, примененного в комбинированном приемнике «Родина-59». В этой схеме промежуток эмиттер—коллектор транзистора выполняет роль прерывателя, причем транзистор работает не как усилительный прибор, а как электрически управляемый ключ с двумя состояниями: запертым и насыщенным.

Для запирания транзистора достаточно его базе сообщить положительный потенциал, причем эмиттерный переход смещается в обратном направлении, инъекция дырок прекращается и в цепи коллектора проходит лишь небольшой обратный ток в несколько микроампер. Если же базе сообщить достаточный отрицательный потенциал, то ток, проходящий в цепи, может ограничиться сопротивлением

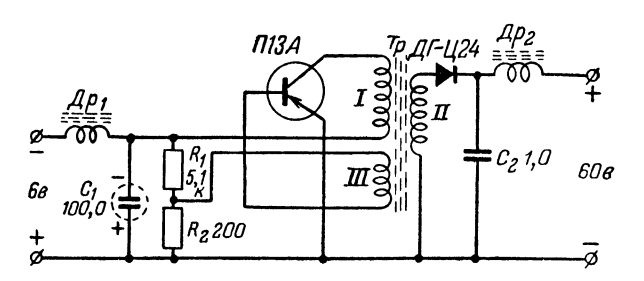


Рис. 4-77. Принципиальная схема преобразователя постоянного напряжения 6/60 *в* для питания анодных цепей ламп батарейного приемника.

внешней цепи и практически все напряжение источника питания будет передаваться на введенную в цепь коллектора обмотку *I* трансформатора *Тр* (падение напряжения на промежутке коллектор—эмиттер может быть порядка 0,1 *в*). Такое состояние транзистора называется насыщенным.

Как в запертом, так и в насыщенном состоянии, транзистор рассеивает весьма малую долю коммутируемой им мощности, ибо в одном случае ток ничтожно мал, а в другом падение напряжения мало.

Таким образом, периодически переводя транзистор в запертое и насыщенное состояния, можно создать в обмотке *I* следующие с определенной частотой импульсы тока. Для автоматического периодического переключения транзистора достаточно в цепь базы его ввести обмотку обратной связи *III*, намотанную на общем с обмоткой *I* сердечнике.

С помощью повышающей напряжение обмотки *II* и однополупериодного выпрямителя с германиевым диодом получают повышенное постоянное напряжение. Ввиду повышенной частоты для сглаживания его достаточен одиночный конденсатор C_2 небольшой емкости.

Для предотвращения помех радиоприему за счет проникновения по цепям питания высших гармоник на входе и выходе преобразователя включаются высокочастотные дроссели $Др_1$ и $Др_2$. Кроме того преобразователи обычно заключают в металлический экран.

Для облегчения самовозбуждения преобразователя базе транзистора сообщают небольшой начальный отрицательный потенциал с помощью делителя из сопротивлений R_1 и R_2, приоткрывающий транзистор.

Высокая экономичность преобразователей на транзисторах достигается только при работе транзисторов в режиме переключения, признаком которого является близкая к прямоугольной форма колебаний напряжения на коллекторе. Для достижения такой формы колебаний стремятся свести к минимуму собственные емкости обмоток и индуктивности рассеяния трансформатора и обеспечить сильную связь цепи базы с коллекторной цепью.

ГЛАВА ПЯТАЯ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

5-1. Проводниковые металлы

Металлы и сплавы с низким удельным сопротивлением. К числу таких металлов, с которыми наиболее часто приходится встречаться радиомастеру, принадлежат:

Медь (химическое обозначение Cu). Температура плавления 1083° С, удельный вес 8,9.

В электротехнике применяется особо чистая электролитическая медь М-1, обладающая малым удельным сопротивлением (0,0175 *ом·мм²/м*).

Механические свойства меди зависят от способа ее термической обработки. Твердотянутая медь обладает большой прочностью на разрыв, малым удлинением при разрыве и повышенным удельным сопротивлением. Отожженная медь (мягкая) дает значительное удлинение при разрыве и обладает меньшим удельным сопротивлением. Применяется медь в виде проводов, листов, трубок и т. п.

Латунь. Желтый сплав меди, цинка и незначительной доли свинца в различных процентных отношениях. Латунь маркируется буквой Л с двухзначным числом, показывающим процентное содержание меди (например, Л-62 означает сплав, содержащий 62% меди).

Латунь обрабатывается легче, чем медь, но обладает в 4—7 раз большим удельным сопротивлением. Выпускается латунь в виде прутков различных диаметров и длин, которые служат для вытачивания из них осей, контактов, шпилек и т. п. Тонкая листовая латунь идет на поделку различных крепежных деталей, контактов, лепестков. Гартованная латунь обладает большой упругостью и является хорошим материалом для изготовления пружинящих контактов.

Бронза. Твердый металл, сплав с содержанием меди большим, чем в латуни, и с добавлением олова, марганца, фосфора, бериллия, кадмия и др. Для производства скользящих и пружинных контактов применяется фосфористая бронза и бериллиевая бронза.

Алюминий (Al). Температура плавления 660° С, удельный вес около 2,7, удельное сопротивление 0,028 *ом·мм²/м*. Мягкий металл серебристо-белого цвета, получаемый электролизом из глинозема (бокситов). Алюминий быстро окисляется на воздухе и приобретает при этом матово-серую окраску. Оксидный слой плохо проводит электрический ток, но предохраняет металл от дальнейшего окисления. Поэтому алюминий стоек по отношению к воздуху и воде. Алюминий растворяется в соляной кислоте и во всех щелочах и сплавляется с самыми различными металлами. Сплавы представляют собой легкие металлы, отличающиеся ценными свойствами. Наиболее известны алюминиевые сплавы: дюралюминий и альдрей, которые значительно тверже алюминия. Однако и тот и другой в большей степени подвержены коррозии и более хрупки, чем алюминий.

Алюминий применяется в виде проволоки, прутков, листов и фольги. Проволока выпускается двух типов: твердая (неотожженая) диаметром от 1 до 4,5 *мм* и мягкая (отожженная) диаметром от 0,7 *мм* и выше. Алюминиевая проволока, кроме своего прямого назначения, может быть использована для изготовления заклепок. Прутки различных диаметров используются для токарных поделок. Листовой алюминий применяется для изготовления шасси и различных крепежных элементов, а также для экранов и кожухов. Алюминиевая фольга применяется при изготовлении бумажных и электролитических конденсаторов.

Дюралюминий встречается в виде листов и прутков. Прутковый дюралюминий находит то же применение, что и алюминий, причем обтачивается он значительно легче, так как он менее вязок. Листовой дюралюминий применяется для изготовления шасси и различных каркасов, однако при сгибании он дает трещины и ломается. Для предотвращения перелома дюралюминий сгибают, предварительно нагрев его. Алюминий и его сплавы находят широкое применение и как легкоплавкие металлы для литья каркасов радиоаппаратуры.

Сталь. Удельный вес порядка 7,8, удельное сопротивление 0,10—0,20 *ом·мм²/м*, т. е. в 6—12 раз больше, чем у меди. Отличается высокой механической прочностью на разрыв. На влажном воздухе в сильной мере подвержена коррозии. Для предотвращения ржавления поверхность готовых изделий из стали покрывается защитным слоем другого металла (кадмирование, оцинковка, никелирование).

Свойства стали в значительной мере зависят от содержания в ней углерода. Машиноподелочная (конструкционная) сталь содержит углерода от 0,01 до 0,65% и маркируется Ст. 1, Ст. 2,... Ст.7 (в порядке возрастания процента углерода). Воспринимающая закалку инструментальная (углеродистая) сталь маркируется буквой У и числом, указывающим содержание углерода в десятых долях процента. Например, У-9 означает инструментальную сталь, содержащую 0,9% углерода. Добавление буквы А, например У-13-А, обозначает минимальное содержание вредных примесей фосфора и серы.

Стальная проволока применяется в качестве проводов трансляционных сетей и междугородних линий связи. Распространена также биметаллическая проволока, у которой стальное тело по всей поверхности и длине покрыто другим металлом (большей частью медью). Проволока из биметалла выпускается диаметром от 1 до 4 *мм*. Электрическое сопротивление такой проволоки втрое меньше, чем у стальной того же диаметра.

Прутковая сталь идет на токарные поделки (вытачивание болтов, гаек, осей, втулок, шпилек и пр.).

Мягкая листовая сталь, которую часто называют железом, широко применяется для изготовления шасси, футляров, каркасов, стоек и подобных деталей. Стальные конструкции обладают высокой механической прочностью. Однако сталь значительно трудней обрабатывать, чем многие другие металлы. Кроме того, в силу присущих стали магнитных свойств ее не всегда уместно применять в радиоаппаратуре.

Тонкие листы мягкой стали, покрытые слоем олова, называются жестью. Жесть, выпускается толщиной от 0,2 до 0,5 *мм*; она легко режется ножницами и паяется. Из жести делают экраны и кожухи для низкочастотных узлов радиоаппаратуры, а также некоторые другие элементы конструкций (софиты, рефлекторы для шкал).

Ярко выраженные магнитные свойства стали послужили причиной широкого применения различных ее сортов в качестве магнитных материалов (см. ниже).

О таких металлах, как *олово*, *свинец*, *цинк*, как имеющих специфическое применение, будет сказано в соответствующих местах книги.

Сплавы с высоким удельным сопротивлением. Для изготовления проволочных сопротивлений, реостатов и нагревательных приборов применяются специальные сплавы различных металлов, обладающие высоким удельным сопротивлением. Рассмотрим кратко важнейшие из таких сплавов.

Манганин — сплав, содержащий в среднем 86% меди, 12% марганца и 2% никеля. Удельное сопротивление манганина около 0,5 *ом·мм²/м*. Вследствие очень малого температурного коэффициента применяется для изготовления добавочных сопротивлений и шунтов к измерительным приборам. Рабочая температура сопротивлений, изготовленных из манганиновой проволоки, не должна превышать 60° С.

Константан — сплав из 60% меди, 40% никеля и около 1% марганца. Удельное сопротивление константана около 0,5 *ом·мм²/м*. Применяется для изготовления сопротивлений и реостатов, работающих при температуре до 400° С. Кроме того, применяется для изготовления термопар; в паре с медью развивает термо-э. д. с. порядка 50 *мкв* на 1° С.

Никелин — сплав меди и никеля с меньшим процентом содержания никеля. Удельное сопротивление 0,4÷÷0,45 *ом·мм²/м*. Выпускается в виде проволоки; предназначается для намотки сопротивлений, работающих при невысокой температуре (до 150° С).

Нихром — сплав из 67% никеля, 16% железа, 15% хрома и 1,5% марганца. Прекрасный материал для изготовления сопротивлений и обмоток электронагревательных приборов. Рабочая температура может доходить до 1000° С. Удельное сопротивление нихрома 1—1,1 *ом·мм²/м*.

Фехраль — сплав 15% хрома, 3% алюминия, остальное — железо. Удельное сопротивление 1,2—1,4 *ом·мм²/м*. Рабочая температура может доходить до 950° С. Применение то же, что и у нихрома.

Хромаль — сплав 30% хрома, 4,5% алюминия, остальное — железо. Удельное сопротивление около 1,4 *ом·мм²/м*. Допускает работу при температуре 1250° С.

Все перечисленные сплавы с большим удельным сопротивлением выпускаются в виде проволоки (голой и в изоляции) диаметром от 0,03—0,1 *мм*, а также в виде лент.

5-2. Магнитные материалы

Магнитные материалы делятся на два основных класса: магнитно-мягкие и магнитно-твердые.

Магнитно-мягкие материалы характеризуются большой магнитной проницаемостью и узкой петлей гистерезиса. Они применяются в качестве различного рода магнитопроводов и сердечников. К магнитно-мягким материалам относятся:

Листовая электротехническая сталь, содержащая до 4% кремния. Применяется она при низких частотах. Электротехническая сталь маркируется буквой Э и двумя цифрами, первая из которых указывает процентное содержание кремния (от 1 до 4), а вторая — электромагнитные свойства стали. Вторая цифра от 1 до 4 обозначает потери электрической мощности, причем потери уменьшаются при увеличении как второй цифры, так и первой, ибо с увеличением содержания кремния они также уменьшаются.

Для силовых трансформаторов применяют низшие номера стали (Э11, Э21), а для низкочастотных трансформаторов (выходных, междуламповых) — повышенных номеров (Э43, Э44).

Сталь этих марок выпускается в виде листов длиной 1000—2000 *мм* и шириной 600—1000 *мм* при толщине 0,35 и 0,5 *мм*. Сталь высшей марки Э44 выпускается также толщиной 0,1 *мм* (для наиболее высококачественных низкочастотных трансформаторов).

Особенно высокими качествами отличается холоднокатаная сталь, обладающая повышенной проницаемостью. Марки этих сталей отличаются наличием третьей цифры — нуля, например, Э330. Толщина листов и лент холоднокатаных сталей бывает от 0,03 до 0,5 *мм*.

Сердечники для равноценных трансформаторов из холоднокатаных сталей имеют на 40% меньший вес и объем, чем сердечники из лучшей электротехнической стали Э44.

Высокой магнитной проницаемостью отличаются также специальные сорта сталей, вторые цифры в марках которых имеют значения от 5 до 8, например, Э48, Э370 (сталь последней марки одновременно является холоднокатаной). Стали с высокой проницаемостью выпускаются толщиной от 0,1 *мм* и применяются для импульсных трансформаторов.

Пермаллои — сплавы, содержащие до 80% никеля, от 0,5 до 15% молибдена, марганца, хрома, меди, кремния, остальное — железо.

Марки пермаллоев начинаются буквой Н (никель) и числом, указывающим процентное содержание никеля, например, Н45 («45-процентный пермаллой»), Н79М5 (79% никеля, 5% молибдена).

Пермаллои отличаются очень высокой магнитной проницаемостью (до сотен тысяч), возрастающей с повышением процента никеля, однако такие сорта пригодны для работы в относительно слабых полях и в основном без постоянного подмагничивания (микрофонные трансформаторы, трансформаторы в маломощных каскадах с транзисторами).

Пермаллои с пониженным содержанием никеля (45—60%) обладают меньшей магнитной проницаемостью (до 10 000), но могут работать при более сильных полях, в том числе при ограниченном постоянном подмагничивании. Такие сорта пермаллоя применяются для сердечников телефонных реле, магнитных экранов низкочастотных трансформаторов.

Пермаллой выпускается в виде проволок, лент и листов толщиной 0,05—0,5 *мм*.

Все сорта пермаллоя боятся ударов, изгибов, ибо всякие деформации приводят к резкому ухудшению магнитных свойств. Поэтому сборку и стяжку сердечников из пермаллоя следует производить весьма осторожно без излишних механических напряжений.

Пермендюр — сплав 50% кобальта, 2% ванадия, остальное — железо. Хорошо работает при сильном постоянном подмагничивании и представляет очень ценный материал для изготовления телефонных мембран, кернов динамических громкоговорителей и т. п.

Порошкообразные магнитные материалы находят большое применение в радиотехнике для изготовления сердечников высокочастотных катушек. Высокочастотные магнитные сердечники состоят из замешанного в бакелитовом лаке порошкообразного пермаллоя, магнетита (железная руда, состоящая из смеси окислов железа), карбонильного железа (чистое железо) или альсифера (сплава алюминия, кремния и железа). Эта масса прессуется под высоким давлением непосредственно в виде сердечников требуемой формы.

Порошкообразные магнитные материалы применяются в широком диапазоне частот: для низких частот вырабатываются сердечники из пермаллоя, для тональных — из альсифера ТЧ и для высоких частот — из альсифера РЧ, магнетита и карбонильного железа. Все эти материалы принято называть высокочастотными ферромагнетиками или магнитодиэлектриками.

Наилучшими магнитодиэлектриками, допускающими работу на частотах до 10—20 *Мгц* и обладающими малыми потерями, являются прессованное карбонильное железо и альсифер РЧ-6. Последний обладает отрицательным температурным коэффициентом магнитной проницаемости и позволяет конструировать высокостабильные в температурном отношении колебательные контуры.

Ферриты (оксиферы) — новые высокочастотные магнито-мягкие керамические материалы, получаемые путем спекания мелко размельченных окислов железа и других металлов (никеля, цинка, марганца, меди, кадмия). Обладают прекрасными и разнообразными магнитными свойствами и находят все более широкое применение в радиоаппаратуре.

В зависимости от состава магнитная проницаемость ферритов бывает от 10 до 4000. Благодаря высокому электрическому сопротивлению в ферритах очень малы потери на вихревые токи, а потому они являются ценными материалами для магнитопроводов, работающих в высокочастотных полях.

Ферриты с магнитной проницаемостью 2000 сохраняют значение магнитной проницаемости и малые потери

до частот 100—200 *кгц*, с проницаемостью 1000—до 200—500 *кгц*, с проницаемостью 400 — до 1—1,5 *Мгц*. Наиболее высокочастотными ферритами являются специальные радиочастотные марки РЧ-10 и РЧ-15 (числа обозначают величину магнитной проницаемости), работоспособные до частоты 50 *Мгц*.

Ферриты выпускаются в виде Ш-образных сердечников различных размеров (для низкочастотных и импульсных трансформаторов), колец (для торроидальных трансформаторов и катушек), цилиндрических стержней (для дросселей, корректирующих индуктивностей и ферритовых антенн), в виде стержней прямоугольной формы (для ферритовых антенн) и в виде чашеобразных сердечников (для высокочастотных контурных катушек). Ассортимент типоразмеров изделий из ферритов непрерывно расширяется.

Применение ферритов для сердечников катушек колебательных контуров позволяет в несколько раз уменьшить размеры катушек и достигнуть весьма высоких добротностей ($Q = 200 \div 500$).

Ферриты с высокой магнитной проницаемостью (2000—200) работоспособны лишь при температурах до 70—120° С. При более высоких температурах магнитная проницаемость катастрофически падает, но при охлаждении немедленно восстанавливается.

Среди прочих типов ферритов особое место занимают магний-марганцевые ферриты, обладающие прямоугольной петлей гистерезиса (они выпускаются в виде таких же колец, как и обычные ферриты, но служат для специального применения в качестве элементов памяти электронновычислительных машин), и бариевые ферриты (ферроксдюр), обладающие свойствами магнитно-твердого материала (см. ниже).

Готовые ферритовые детали хрупки, плохо поддаются механической обработке, допуская в основном шлифовку

Магнитно-твердые материалы применяются для изготовления постоянных магнитов, используемых в телефонах, громкоговорителях, звукоснимателях, микрофонах и других радиоприборах.

Углеродистая сталь (содержит углерода до 1,7%) отличается непостоянством магнитных свойств, легко размагничивается при сотрясениях и ударах. Кроме того, углеродистая сталь хрупка и не допускает ковки, изгибания.

Вольфрамовая и *хромовая стали*, содержащие по нескольку процентов соответствующих названиям металлов, являются значительно лучшими материалами для изготовления постоянных магнитов. Эти сорта стали недороги, легко обрабатываются (куются, выдерживают изгиб) и обладают несколько лучшими магнитными свойствами, чем углеродистая сталь.

Кобальтовая сталь (содержит до 40% кобальта и 7% вольфрама) отличается высокой магнитной устойчивостью при механических и температурных воздействиях, поддается ковке, сгибанию. Равноценный магнит из кобальтовой стали в 6 раз легче, чем из углеродистой или хромовой.

Альни, альниси, альнико, магнико — группа сплавов, содержащих до 25% никеля, 10—15% алюминия, 3—6% меди, остальное — железо, кобальт, кремний.

Сплавы альни — наиболее ценный материал для изготовления постоянных магнитов. В последнее десятилетие они вытеснили все прочие сорта магнитно-твердых материалов в производстве электроакустических приборов. Магниты из этих сплавов в 10—20 раз легче стальных.

Опиливать и шлифовать изделия из альни следует осторожно, так как эти сплавы хрупки и легко крошатся.

5-3. Изолирующие материалы

К изолирующим материалам в зависимости от их применения предъявляются самые разнообразные требования. К числу их относятся сопротивление изоляции вещества, которое должно быть как можно более высоким. При возникновении сильного нагрева изолирующий материал должен обнаруживать теплостойкость, а в иных случаях и огнестойкость и др.

Особенно высокие требования предъявляются к качеству изоляционных материалов, применяемых в качестве диэлектриков между пластинами конденсаторов, а также при изготовлении радиодеталей для высокочастотных цепей. Здесь важно знать диэлектрическую проницаемость диэлектрика и угол потерь на рабочих частотах и температурный коэффициент. Радиомастеру важно также знать возможности обработки различных изолирующих материалов.

Все изолирующие материалы делят на два основных класса: неорганические и органические изолирующие материалы.

Неорганические изолирующие материалы. К этому классу относятся минеральные вещества и разнообразные сорта керамики. Все они отличаются огнестойкостью, значительной твердостью и плохо поддаются (за небольшим исключением) обработке. Таковы кварц, стекло стеклоэмали, фарфор электротехнический и радиофарфор, большое количество специальных сортов керамики. Обработка изделий из этих материалов обычно сводится только к шлифовке опорных поверхностей. Пилить и сверлить можно мрамор, шифер и асбест. Слюда поддается штамповке.

Слюда. Диэлектрическая проницаемость для различных сортов изменяется в пределах от 4 до 8. Электрическая прочность от 50 до 200 *кв* при толщине 1 *мм*. Слюда расщепляется на очень тонкие пластинки, толщиной в несколько тысячных долей миллиметра, которые тем не менее обладают большой гибкостью и упругостью.

Наиболее распространены в электротехнике две разновидности слюды: мусковит, отличающийся высокой прозрачностью, и флогопит — большей частью бурого цвета.

М у с к о в и т — прекрасный диэлектрик для конденсаторов. Хорошие чистые сорта мусковита без пятен обладают ничтожным углом потерь (при $f = 1$ *Мгц* $\operatorname{tg}\delta < 0{,}001$) и очень высоким удельным объемным сопротивлением, достигающим $(8 \div 10) \cdot 10^{-14}$ *ом·см*.

Ф л о г о п и т обладает несколько худшими электрическими качествами, но весьма огнеупорен, поэтому широко применяется для изоляции электронагревательных приборов, работающих при температурах до 1000° С Все сорта слюды почти совершенно негигроскопичны.

Путем прессовки размельченной в порошок слюды с примесью борнокислого свинца или борной кислоты и сурика получают ценный изоляционный материал — м и к а л е к с, сочетающий хорошие диэлектрические и механические свойства с высокой теплостойкостью. Микалекс применяют для установочных изоляторов в мощной высокочастотной аппаратуре.

Мрамор. Главная составная часть мрамора — углекислая известь (содержит обычно и другие минеральные включения). В связи с простотой шлифовки и красивым внешним видом мраморные плиты применяют для монтажа распределительных щитов, для чего обычно берут белый мрамор. Из соображений прочности толщина плиты должна быть не менее 20 *мм*. Теплостойкость мрамора проявляется лишь при температурах до 100° С. Разлагается от действия крепких кислот. При радиочастотах мрамор не применяется из-за невысоких диэлектрических свойств.

Асбест (кремниевокислая магнезия) — минеральное вещество, перерабатываемое на шнуры, фитили и асбестовый картон. В сочетании с другими веществами применяется для приготовления асбестового шифера, асбоцемента, асбопластмасс и др. Все производные асбеста—огнеупорные материалы. Они обладают достаточно большим сопротивлением изоляции и применяются для изготовления каркасов нагревательных приборов и мощных сопротивлений.

Фарфоры. Различают три типа фарфоров. электротехнический (изоляторный), радиофарфор и ультрафарфор. Электротехнический фарфор по составу отличается большим содержанием полевого шпата, наличие которого обусловливает заметную гигроскопичность материала и сравнительно большой угол диэлектрических потерь, увеличивающийся при повышении температуры. В связи с этим применение электротехнического фарфора ограничивается приготовлением изоляторов для электротехники сильных токов.

Радиофарфор вместо полевого шпата наряду с увеличенным процентом каолина содержит углекислый барий. Радиофарфор, особенно покрытый глазурью, не чувствителен к атмосферным воздействиям. Он обладает вдвое меньшим углом потерь, чем электротехнический фарфор. Кроме того, потери у радиофарфора начинают расти лишь при повышении температуры сверх 100—200° С. Из радиофарфора изготовляются каркасы катушек индуктивности для коротких волн, высококачественные ламповые панели и установочная изоляция высокочастотных деталей.

Ультрафарфор обладает еще более высокими качествами, чем радиофарфор, и применяется для изоляции высокочастотных цепей даже в ультракоротковолновой аппаратуре.

Высокочастотная керамика. Все большее значение приобретают обладающие высокими диэлектрическими свойствами искусственные керамические материалы.

Кроме указанных выше фарфоров, к ним относятся пирофилит, тальковая керамика (стеатит, высокочастотный стеатит, кордиерит), глиноземистая керамика (алюминоксид, керамит) и титановая керамика (тиконд, термоконд, тиглин, тибар). Все перечисленные типы керамики, за исключением кордиерита, негигроскопичны. Электрическая прочность большинства керамик равна 15—20 *кв/мм.* Диэлектрическая проницаемость — порядка 5—10 для тальковой, глиноземистой и пирофилитовой керамики, в пределах 12—25 для термоконда и тиглина, а для различных марок тиконда она достигает 60—160. У тибара диэлектрическая проницаемость превышает 1000.

Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости у большинства керамик невелик, специальные же сорта конденсаторной керамики (тиглин, тиконд, термоконд) обладают отрицательным температурным коэффициентом, что позволяет изготовлять с их помощью конденсаторы, компенсирующие положительный температурный коэффициент контурных катушек. Керамика обладает небольшим углом потерь (наибольшее значение $\operatorname{tg}\delta$ свойственно пирофилиту и стеатиту).

Все керамические материалы огнеупорны и выдерживают температуры выше 1000°. Применяется керамика не только в качестве диэлектриков для конденсаторов, но и в качестве установочной, а также в виде каркасов для высококачественных катушек.

Органические изолирующие материалы. К разряду органических изолирующих материалов относятся вещества животного (шелк, воск) и растительного (бумага, резина, канифоль, лаки, смолы и масла) происхождения, а также искусственные синтетические продукты, относящиеся к классу органических соединений (бакелиты, полистирол, полихлорвинил, целлулоид и др.).

За редким исключением, органические изолирующие материалы не обладают теплостойкостью и сохраняют удовлетворительные электрические и механические качества при температурах, не превышающих 50—80° С, только лаки выдерживают температуру до 150° С. С другой стороны, все органические изолирующие материалы (кроме карболитов) поддаются механической обработке, что является их большим преимуществом.

Диэлектрическая проницаемость большинства органических материалов не превышает 10. В отношении же угла потерь и гигроскопичности различные органические вещества резко отличаются друг от друга.

Воск пчелиный. Диэлектрическая проницаемость 2,5, электрическая прочность 20—25 *кв/мм*, температура плавления около 65° С, гигроскопичность почти отсутствует. Применяется для пропитки обмоток и хлопчатобумажных оплеток в целях придания им влагоустойчивости и стабилизации изоляционных качеств.

Пчелиному воску близки по физическим и электрическим качествам озокерит (горный воск), применяемый для пропитки изоляции проводов и для заливки кабельных муфт, церезин, пригодный для пропитки изоляции высокочастотных деталей, в том числе бумажных конденсаторов, и парафин, применяемый для пропитки конденсаторной бумаги и для заливки конденсаторов. Парафин является также хорошим пропиточным материалом для снижения гигроскопичности дерева и фанеры.

Галовакс — искусственный пропиточный и заливочный материал. Отличается несколько большей теплостойкостью (до 110° С), чем воск и парафин, и обладает диэлектрической проницаемостью 5—6. Наряду с этим у галовакса больше угол диэлектрических потерь и меньше электрическая прочность (3—10 *кв/мм*).

Пропитка контурных катушек чистым галоваксом не рекомендуется. Многие сорта галовакса разрушающе действуют на эмалевую изоляцию проводов и вызывают коррозию металлов.

Канифоль — продукт переработки смолы хвойных деревьев. Обладает высоким электрическим сопротивлением. Однако низкая механическая прочность и низкая температура размягчения мешают самостоятельному применению канифоли в качестве изолирующего материала.

Канифоль широко применяется при пайке, а также в качестве составной части многих пропиточных, заливочных и покровных изолирующих материалов (компаундов). Растворяется канифоль в скипидаре, спирте, маслах и сероуглероде.

Шеллак — естественный продукт, относящийся к разряду смол. Отличается высокой склеивающей способностью и имеет относительно хорошие диэлектрические показатели. Клеящая масса приготовляется растворением сухого щеллака в спирте, ацетоне или растворе буры. Применяется для крепления витков катушек.

Резина — продукт вулканизации (нагревание с добавлением серы) каучука (естественной смолы растительного происхождения). В настоящее время наиболее распространена резина, изготовляемая из синтетического каучука.

Для электротехнических целей применяется специальная резина (с примесью окиси свинца), не вызывающая коррозии металлов. Важнейшие применения резины в электротехнике — изоляция проводов и герметизация аппаратуры, особенно переносной. Кроме того, резина применяется и для механической амортизации радиоаппаратуры.

Электроизоляционные свойства резины достаточно высоки, но в цепях высокой частоты большинство сортов резины вносит значительные потери.

Эбонит — материал, вырабатываемый из каучука. Легко обрабатывается и потому находит широкое применение в радиоаппаратуре. Наряду с удовлетворительными изоляционными свойствами обладает очень низкой теплостойкостью (применение эбонита допустимо в узлах с нагревом не выше 40° С). Со временем свойства эбонита сильно изменяются, поэтому в высокочастотных цепях его не применяют.

На основе синтетического каучука изготовлена пластмасса — эскапон, превосходящая эбонит по термостойкости и диэлектрическим качествам.

Карболиты — большое количество пластмасс, изготовляемых на основе композиции волокнистых и порошковых органических веществ со связующей смолой. Карбо-

литовые изделия недороги и находят широкое применение в различных отраслях техники, в том числе и радиотехники.

Диэлектрическая проницаемость карболита лежит в пределах 4—6 и заметно изменяется в зависимости от температуры. Угол диэлектрических потерь весьма велик и быстро растет при нагреве и увлажнении. Электрическая прочность колеблется для различных сортов от 2 до 10 *кв/мм*. Все карболиты в той или иной мере гигроскопичны. Теплостойкость карболитов в среднем ограничивается 100° С.

Опыт эксплуатации радиодеталей с карболитовыми корпусами, основаниями или опрессовкой (в том числе сопротивлений ТО и опрессованных слюдяных конденсаторов старых типов) показал, что они обладают низким постоянством параметров и особенно плохо влияют на работу радиоаппаратуры при установке в цепях высокой частоты. Готовые карболитовые изделия трудно обрабатываются в силу присущей большинству карболитов хрупкости.

Гетинакс — слоистая пластмасса на бумажной основе. Обладает примерно такими же свойствами, что и карболиты. У гетинакса несколько выше электрическая прочность (до 20 *кв/мм*) и высока гигроскопичность. Диэлектрическая проницаемость 5—9.

Применение гетинакса следует ограничивать изоляцией низкочастотных цепей и цепей питания. Обрабатывается гетинакс легко.

Текстолит — слоистая пластмасса на текстильной основе. Текстолит схож с гетинаксом, но менее гигроскопичен. Следует избегать применения текстолита в высокочастотных цепях из-за большой зависимости электрических свойств его от температуры и из-за большого угла потерь. Обрабатывается текстолит легко, но и легко ломается при сгибании.

Текстолит, изготовленный на основе стеклянной ткани (стеклотекстолит), обладает высокими диэлектрическими качествами и пригоден для изоляции высокочастотных цепей.

Полистирол — прозрачная стекловидная пластмасса. Превосходный высокочастотный диэлектрик. Электрическая прочность 50 *кв/мм*, угол диэлектрических потерь ничтожно мал ($\operatorname{tg}\delta = 0{,}0002$), диэлектрическая проницаемость около 2,5. Материал совершенно негигроскопичный. Единственным недостатком полистирола является общая особенность группы органических материалов — невысокая теплостойкость (60—80° С).

Детали из полистирола изготовляются литьем под давлением или прессовкой. Так как материал легко обрабатывается, то оказывается возможным изготовление деталей слесарными способами из полистироловых плиток. Приготовляются из полистирола самые разнообразные изоляционные детали, начиная от эластичных изоляционных лент (стирофлекс) и тонких прокладок (полифлекс) и кончая каркасами высококачественных контурных катушек и изоляцией ультравысокочастотных кабелей.

Полихлорвинил — прозрачный или окрашенный эластичный материал для изоляции проводов. Обладает высокой электрической прочностью (50 *кв/мм*), но отличается низкой теплостойкостью (60° С) и повышенным значением угла потерь ($\operatorname{tg}\delta$ на радиочастотах порядка 0,01). Гигроскопичность низкая, в связи с чем успешно применяется для антикоррозийной защиты подземных кабелей. Выпускается также в виде трубок для изоляции проводов при монтаже радиоаппаратуры.

Полиэтилен — полупрозрачный эластичный материал, обладающий высокими диэлектрическими свойствами. Низкая диэлектрическая проницаемость (2,2) и малые потери ($\operatorname{tg}\delta = 0{,}003$) сохраняются в широком диапазоне частот и при изменении температуры. Теплостойкость — до 70° С. Применяется для изготовления каркасов контурных катушек и для изоляции в высокочастотных кабелях.

Фторопласт (тефлон) — наиболее высокотемпературный органический диэлектрик белого цвета, обладающий прекрасными изоляционными свойствами (диэлектрическая проницаемость 2,2, $\operatorname{tg}\delta = 0{,}0002$). Наивысшая рабочая температура 200° С. Обладает высокой химической стойкостью. Применяется для изготовления установочных изоляторов радиочастотных цепей и в высокочастотных кабелях. Поддается всем видам механической обработки.

Органическое стекло (плексиглас) выпускается бесцветным и окрашенным в различные цвета. Легко обрабатывается, полируется, допускает нанесение цифр, гравировку. Влагоустойчиво. Теплостойкость до 60°, после чего размягчается. Может применяться как изолятор, хотя основное применение находит как декоративный материал. Электрическая прочность 20 *кв/мм*, диэлектрическая проницаемость 3,5, $\operatorname{tg}\delta = 0{,}05$ при частоте 50 *гц*.

Электрокартон (прессшпан) применяется для изготовления каркасов трансформаторов и катушек. Толщина электрокартона от 0,1 до 3,0 *мм*. Электрическая прочность около 10 *кв/мм*. Для придания влагостойкости изделия из электрокартона пропитывают парафином, церезином или специальными лаками.

Дерево. Электрические свойства дерева в сильной мере зависят от влажности, что является основной причиной сокращения случаев применения дерева в качестве изолирующего материала. С точки зрения диэлектрических свойств из распространенных пород дерева наилучшими являются береза, дуб и бук.

Для повышения влагоустойчивости дерево просушивают, а затем пропитывают парафином или канифолью. Целесообразно также окрашивание деревянных изоляторов масляным или асфальтовым лаком.

Бумага хлопчатая (совместно со всякого рода изоляционными пропиточными материалами) служит для изоляции проводов и в качестве диэлектрика для конденсаторов. Применяемая в радиопродукции бумага обладает особым химическим составом, обеспечивающим ее высокие диэлектрические свойства. Электрическая прочность конденсаторной бумаги составляет 30 *кв/мм*. Выпускается конденсаторная бумага толщиной от 0,006 до 0,024 *мм*. Из «намоточной изоляционной бумаги» изготовляются бумажно-бакелитовые трубки.

Ткани хлопчатобумажные, стеклянные и шелковые для изоляционных целей пропитываются специальными составами, большей частью лаками. Получаемые таким образом лакоткани приготовляются в виде листов (полотна) и трубок. Лакоткани вырабатываются толщиной от 0,04 до 0,3 *мм*. Они обладают высоким удельным сопротивлением и достаточно влагостойки. Электрическая прочность хлопчатобумажной лакоткани 20—24 *кв/мм*, шелковой и стеклянной до 57 *кв/мм*.

Полотно применяется для изоляции обмоток в трансформаторах и других приборах. Трубки из лакоткани, окрашенные в разные цвета, выпускаются с внутренним диаметром от 0,5 до 10 *мм*. Применяются они для изоляции монтажных проводов.

Лаки и эмали. Для защиты изоляционных материалов и металлов от действия влаги, для повышения диэлектрических свойств и уменьшения гигроскопичности изоляторов в электрорадиотехнике применяются покровные и пропиточные лаки. Они состоят из вещества, образующего прочную негигроскопичную пленку, и легко высыхающего растворителя.

Эмали — это те же покровные лаки, но с введенным в их состав пигментным веществом, придающим окраску.

Более всего распространены маслосодержащие лаки, в состав которых входят растительные масла. К ним относятся масляно-канифольные, масляно-битумные (асфальтовый), масляно-глифталевые лаки. Основное применение этих лаков — пропитка обмоток трансформаторов

По окружности барабана нанесено 50 делений. Повороту барабана на одно деление соответствует перемещение микрометрического винта на 0,01 *мм*. На стебле микрометра нанесены миллиметровая и полумиллиметровая шкалы. Измеренный размер получается как сумма двух отсчетов: по шкале на стебле и по шкале на барабане. На рис. 6-3 видны три полных и половина миллиметра, что соответствует 3,5 *мм*, а на барабане отсчитываем еще 16 делений, которые надо прибавить

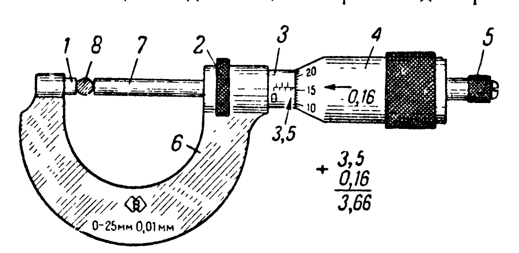


Рис. 6-3. Микрометр.

1 — пятка; *2* — стопор, *3* — стебель; *4* — барабан; *5* — головка; *6* — скоба; *7* — микрометрический винт; *8* — измеряемое изделие.

как сотые доли к 3,5 *мм*, так что результат измерения равен 3,66 *мм*.

С измерительными инструментами надо обращаться бережно и хранить их в особых футлярах.

Перед каждым измерением следует проверить, точно ли на нуле стоят плотно сдвинутые между собой ножки штангенциркуля или завинченный барабан микрометра и не дают ли они просвета. После работы надо измерительные инструменты чистить и слегка смазывать белым вазелином.

Для измерения малых расстояний (зазоров) между небольшими деталями (например, зазора между контак-

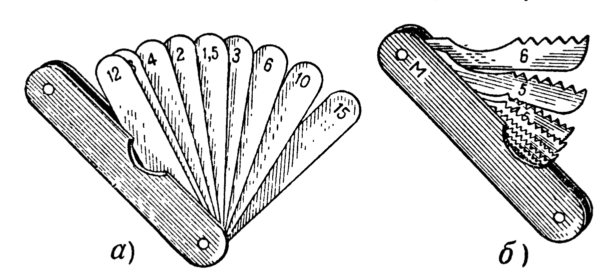


Рис. 6-4. Щуп (*а*) и резьбомер (*б*).

тами реле) применяют *щуп* (рис. 6-4 *а*). Набор пластин в щупах обычно имеет предельные размеры 0,05 *мм* и 2 *мм* Толщина каждой пластины указывается на ней в десятых долях миллиметра Так, например, пластина щупа с числом 1,5 имеет толщину 0,15 *мм*.

Для определения шага резьбы болтов и гаек в слесарной практике применяется *резьбомер* (рис. 6-4, *б*). Пластинки резьбомера с профилями резьбы различных шагов последовательно накладываются на проверяемую резьбу. На пластинке, профиль резьбы которой точно совпадает с проверяемой резьбой, читают размер шага резьбы.

Резьбомеры бывают двух типов: для метрической резьбы (на них ставится знак «60°» или «М») и для дюймовой (со знаком «55°» или «Д») [1], причем на пластинках дюймовых резьбомеров указывается не размер шага резьбы, а количество ниток на 1 дюйм.

[1] 1 дюйм равен 25,4 *мм*.

Для измерения углов применяются жесткие угольники (большей частью с прямым углом, но бывают также с углами в 30, 60 и 120°) и угломер с одной подвижной линейкой (рис. 6-5). Неподвижную линейку, к которой прикреплен полудиск с градусной шкалой, прижимают к одной кромке угла измеряемого изделия, а подвижную передвигают вращением винта В до совпадения ее с дру-

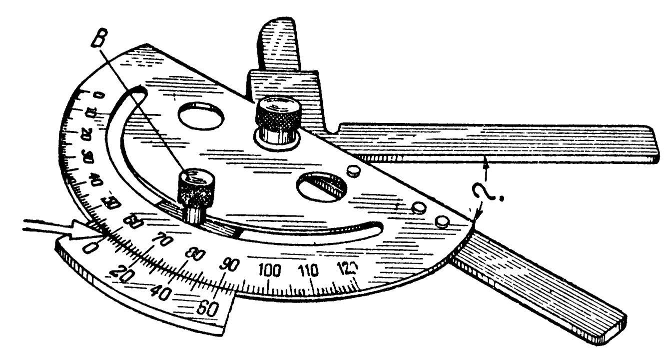


Рис. 6-5. Угломер.

гой прямой. Угол отсчитывается на шкале полудиска, снабженной нониусом.

Разметка. Для разметки используются как указанные выше инструменты (линейки, угольники и штангенциркули), так и специальные разметочные инструменты и приспособления: игла-чертилка, рейсмус, циркуль, плита и др. Кроме того, нужны кернер и молоток для нанесения углублений (накернивания).

На плоскую деталь размеры переносят со штангенциркуля с помощью приложенного к ней угольника или линейки (рис. 6-6). Штангенциркуль должен служить только для измерения, но не для нанесения рисок. На практике для разметки применяют специальный разметочный штангенциркуль. При прочерчивании рисок иглой надо следить за тем, чтобы острие иглы скользило вдоль нижней кромки линейки и чтобы у иглы было хорошее и длинное острие

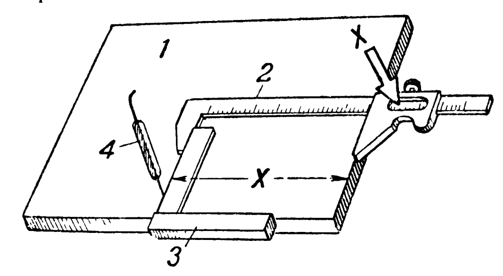


Рис. 6-6. Разметка плоских деталей.

1 — размечаемая плоскость; *2* — штангенциркуль; *3* — угольник; *4* — игла—чертилка.

Рейсмус позволяет наносить линии, которые должны быть расположены на определенной высоте над измерительной плитой. Если сам рейсмус не имеет шкалы, то для установки его чертилки применяют вертикальную масштабную линейку. При разметке деталей с помощью рейсмуса и деталь и рейсмус устанавливают на плиту со строго горизонтальной плоской поверхностью (рис. 6-7).

Кернение круглых деталей производится в призмах (рис. 6-8). Укажем некоторые приемы разметки центров отверстий.

Для повышения точности центрирующие линии должны быть проведены по возможности перпендикулярно друг к другу. При необходимости найти центр круга

Масляно-канифольный лак применяется для пропитки бумаги, лакоткани.

Маслосодержащие лаки требуют сушки при температуре 100—110° С в течение 2—5 *ч*.

Смоляными лаками являются бакелитовый, применяемый для пропитки обмоток трансформаторов и покрытия обработанных поверхностей гетинакса и текстолита, полистирольный (пропитка и покрытие высокочастотных катушек, склеивание полистирола), шеллачный лак, обладающий хорошей склеивающей способностью. Полистирольный и шеллачный лаки высыхают на воздухе, а бакелитовый требует печной сушки при температуре 110° С в течение 5—6 *ч*.

Нитроцеллюлозные лаки (нитролаки) применяются как покровные для металлов и изолирующих материалов. Нитролаки (к ним также относится широко известный лак-цапон) очень быстро высыхают на воздухе (10—20 *мин*).

Электрическая прочность лаков достигает 20—60 *кв/мм*.

Распространенными эмалями являются серая (СВД) и красная (КВД), изготовляемые на основе масляно-глифталевого лака.

Компаунды — это пропиточные и заливочные затвердевающие массы, состоящие из смеси различных изоляционных веществ, не содержащие летучих растворителей. Компаунды обеспечивают лучшую герметичность, чем лаки.

Для целей пропитки обмоток применяются канифольные и битумные компаунды, причем пропитка битумным компаундом производится при высокой температуре, обеспечивающей уменьшение его вязкости (165—175° С).

Галовакс-церезиновый компаунд применяется для влагозащиты как низкочастотных так и высокочастотных катушек и трансформаторов.

Клеи находят применение в радиоаппаратуре для крепления витков обмоток, склеивания различных конструкционных деталей, а также для крепления некоторых радиодеталей на шасси.

Наиболее универсальными являются клеи серии БФ, обеспечивающие прочное склеивание самых разнообразных материалов, в том числе металлов. Склеиваемые поверхности предварительно должны быть тщательно очищены от загрязнений при помощи растворителей (спирт, ацетон) и дважды смазаны клеем с промежуточным подсушиванием на воздухе в течение 1 *ч*.

Склеивание при помощи клея БФ-2 производится под давлением 5—10 $кГ/см^2$ и при повышенной температуре (150° С) в течение 0,5—1 *ч*. Клеи БФ-4 и БФ-6 затвердевают при более низкой температуре (60—80° С) и дают эластичные швы, причем клей БФ-6 пригоден для склеивания тканей и гибких пленок.

Для склеивания целлулоида применяется раствор целлулоидной стружки в ацетоне, а для склеивания оргстекла — раствор стружки оргстекла в дихлорэтане или трихлорэтилене.

Хорошими клеящими свойствами обладают также многие лаки, в том числе полистирольный, шеллачный, бакелитовый (см. выше).

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СЛЕСАРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ РАБОТ

6-1. Измерения и разметка

Измерения. Для выполнения слесарно-механических работ радиомастеру могут понадобиться следующие измерительные инструменты: мерительные линейки, штангенциркули, микрометры и ряд других инструментов, как, например, щуп, резьбомер, угломер и др.

Мерительные линейки, к числу которых относятся и стальные складные и ленточные метры, пригодны только для приближенных и вспомогательных измерений в сочетании с кронциркулем и нутромером (рис. 6-1), при помощи которых измеряемый размер переносится на масштабную линейку.

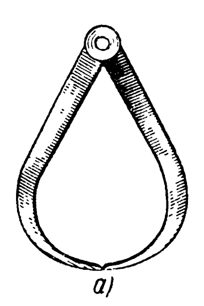


Рис. 6-1. Кронциркуль (*а*) и нутромер (*б*).

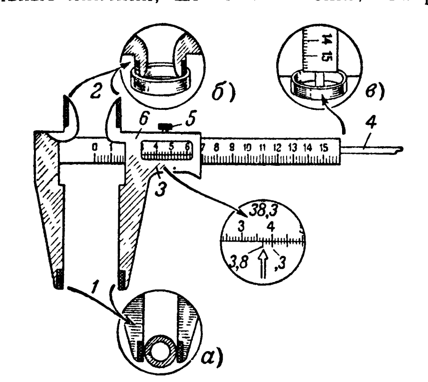


Рис. 6-2. Штангенциркуль.

а — измерение наружных размеров, *б* — измерение внутренних размеров; *в* — измерение глубины. *1* — губки; *2* — губки нутромера; *3* — нониус; *4* — глубиномер; *5* — стопорный винт; *6* — рамка.

К наиболее широко применяемым *штангенциркулям* относится такой, который соединяет в себе собственно штангенциркуль, нутромер и глубиномер (рис. 6-2).

Измерение штангенциркулем (измерение наружных размеров) показано на рис. 6-2, *а*. Предмет, с которого снимается размер, зажимают между губками обеих ножек, причем надо избегать чрезмерного нажима на подвижную ножку. Закрепляющий рамку стопорный винт позволяет вместе с нею закрепить найденный размер. Чтобы штангенциркулем можно было определять десятые доли миллиметра, на нем имеется «нониус» — добавочная шкала, нанесенная на кромке подвижной рамки. Эта шкала состоит из десяти делений, которые соответствуют девяти делениям на шкале неподвижной линейки. На первом штрихе нониуса отсчитывают размер в целом числе миллиметров, а на совпадающих друг с другом штрихах нониуса и неподвижной шкалы отсчитывают добавочные десятые доли миллиметра.

Подобным же образом определяются внутренние размеры. Для этого служат губки нутромера (рис. 6-2, *б*) которые вводятся в измеряемое отверстие и раздвигаются до упора с небольшим нажимом в стенки отверстия. Закрепив рамку стопорным винтом, отсчитывают размер как указано выше.

Измерение глубины отверстий, пазов и канавок производится глубиномером (рис. 6-2, *в*). Результаты измерений отсчитываются также с помощью нониуса. Точность измерения штангенциркулем обычно равна 0,1 *мм*.

Микрометр позволяет определять размеры с точностью до 0,01 *мм*. Его устройство, название отдельных частей и способы измерения им указаны на рис. 6-3.

Микрометрический винт приводится в движение головкой *5* барабана и прижимает изделие к пятке

проводят две любые хорды и восстанавливают в их средних точках перпендикуляры к ним, точка пересечения которых и определяет центр круга.

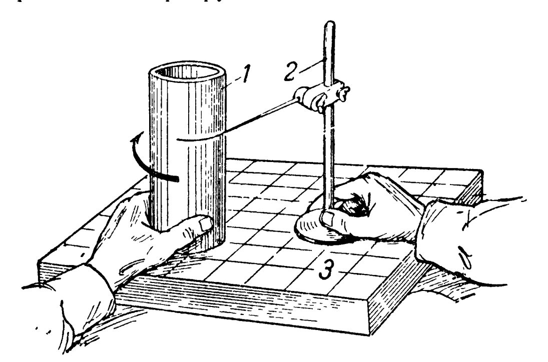


Рис. 6-7. Разметка деталей по высоте

1 — деталь; *2* — рейсмус; *3* — плита.

Если в заготовке должны быть выбраны крупные отверстия, то надо их контур по возможности точно очертить (например, круг с помощью циркуля) и в пределах этого контура нужно накернить метки для сверления так,

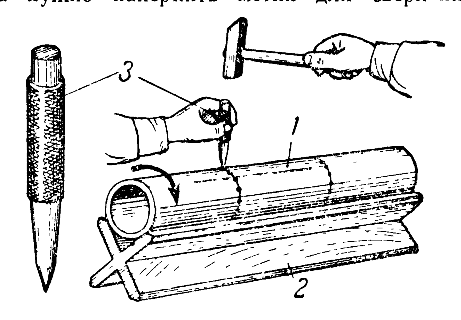


Рис. 6-8. Кернение круглых деталей.

1—деталь; *2*—призма; *3*—кернер.

чтобы очерченный контур при сверлении оставался все время виден. Для этого кернение производится внутри контура и на расстоянии от него, равном половине диаметра применяемого сверла (рис. 6-9). На кривых линиях

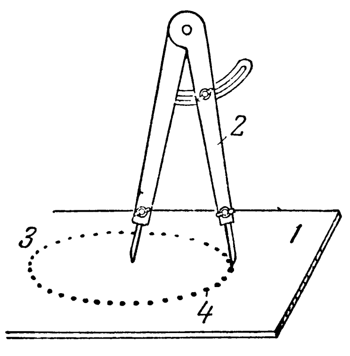


Рис. 6-9. Выборка больших отверстий.

1 — деталь; *2* — разметочный циркуль; *3*—точки, нанесенные кернером после нанесения контурной линии циркулем.

для получения правильного контура нужно накернить возможно больше точек.

Окружности после разметки их центров, каждый из которых определяется двумя пересекающимися прямыми, накерниваются. Удар по кернеру должен быть резким и сильным.

Конец кернера должен быть заточен под углом 40°, но в случае больших отверстий рекомендуется дополнительное накернивание кернером с углом около 60°.

6-2. Рубка, резка и распиловка

Рубка С рубкой приходится встречаться главным образом при отрубании листового материала или при вырубке в нем отверстий. Основной инструмент при рубке молоток и зубило. Нужны также прочные тиски для зажимания материала или плита, на которую он кладется.

Чтобы работа шла успешно, необходима правильная заточка зубила. Угол α режущей грани его, т. е. угол заострения (рис. 6-10, *а*), выбирается равным: для чугуна и бронзы $\sim$70°, для стали $\sim$60°, для латуни и меди $\sim$45°, для цинка и алюминия $\sim$35°. Таким образом, желательно иметь несколько зубил, но, в крайнем случае, можно обойтись одним с углом в 60°.

Разновидностью зубила является к р е й ц м е й с е л ь, служащий для вырубания узких канавок и небольших отверстий.

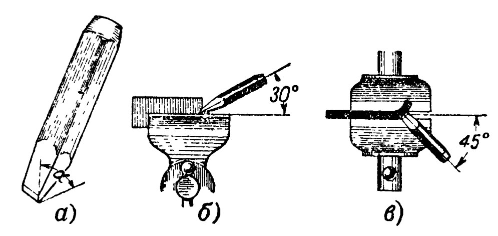


Рис. 6-10. Положение зубила при рубке.

а—заточка зубила; *б*—вид сбоку; *в*—вид сверху.

Молоток для рубки желателен весом в 400—600 *г*.

При отрубании материала последний должен быть очень прочно зажат в тисках по линии отреза. Зубило устанавливают в край отрубаемого листа под углом примерно в 30° к горизонту и в 45° к плоскости листа (рис. 6-10, *б* и *в*) и, придерживая его левой рукой, правой наносят сильные удары молотком по головке зубила. По мере отрубания зубило двигается справа налево.

При вырубании отверстий лист кладут на незакаленную стальную плиту (наковальню), зубило устанавливают вертикально и сильными ударами молотка производят

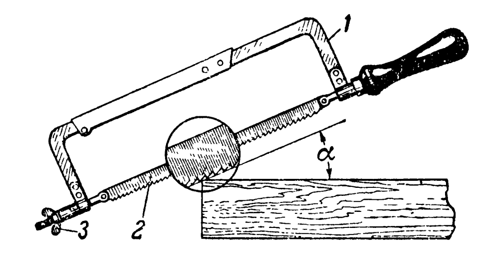


Рис. 6-11. Положение ножовки при резке.

1 — станок; *2* — полотно; *3*—натяжной винт.

рубку по намеченному контуру, несколько отступая от него, с тем чтобы последующей обработкой напильником получить ровный край контура.

Резка и распиловка. Подготовка и грубая обработка заготовки для какой-либо детали начинаются с резки материала. Ручная резка материала, если ее невозможно выполнить ножницами, производится ножовкой.

Ручная ножовка состоит из стальной скобы (станка) с ручкой, натяжного винта для закрепления ножовочного полотна и самого полотна (рис. 6-11). Полотно должно быть укреплено в станке так, чтобы зубья были направлены в п е р е д, а не назад, и должно быть натянуто винтом настолько туго, чтобы не изгибалось во время работы. При ходе вперед надо на ножовку слегка нажимать, ход назад должен происходить без нажима.

Зубья ножовки разведены попеременно в обе стороны, так что пропил получается большей ширины, чем толщина полотна ножовки. Это предотвращает заедание полотна в пропиле и облегчает распиловку материала большого сечения. Число ходов в минуту зависит от твердости и вязкости материала. Сталь, например, отрезают (пилят) сравнительно медленно (около 60 ходов в минуту); другие, менее твердые материалы можно пилить быстрее.

Распиливаемый материал зажимается в тиски таким образом, чтобы из них выступал только срезаемый конец. При распиловке надо следить за тем, чтобы пропил получался прямым и точным. Положение ножовки и направление ее зубьев показано на рис. 6-11. Угол наклона α полотна ножовки относительно материала должен быть по возможности мал.

При распиловке труб по окружности нужно постепенно их поворачивать, иначе легко повредить ножовку или при тонкостенной трубе сделать в ней вмятины.

Узкие шлицы, щели и прорези нужно пропиливать тонкими полотнами, которые можно приготовить из обычных, сточив боковые плоскости разведенных зубьев на наждачном круге.

6-3. Опиливание и обработка поверхностей

Опиливание. Чтобы опилить деталь, необходимо закрепить ее в тисках. Лучше всего пользоваться параллельными тисками.

Тиски надо так прикрепить к рабочему столу, чтобы работать на них было удобно. Верхняя часть губок тисков должна быть на высоте локтя рабочего. Зажимные плоскости тисков имеют губки с рифлеными внутренними поверхностями. Для хорошего опиливания нужно изделие надежно и правильно зажать в тиски.

Изделия с параллельными кромками зажимают в тисках таким образом, чтобы выше губок выступала только обрабатываемая часть (рис. 6-12, *а*). Предметы,

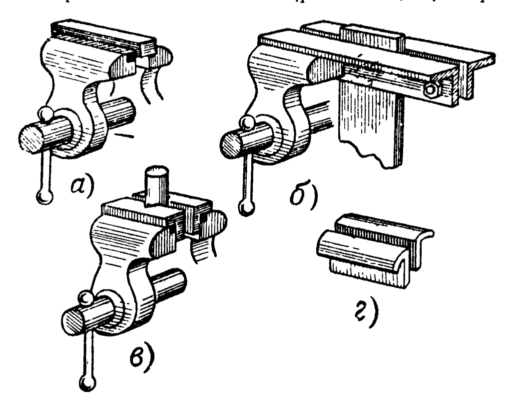


Рис. 6-12. Закрепление заготовок в параллельных тисках.

а — закрепление коротких заготовок; *б* — закрепление длинных заготовок; *в* — закрепление круглых заготовок; *г* — накладные губки.

по длине превосходящие размер губок тисков, необходимо несколько раз переставлять, чтобы работать только в пределах размера губок тисков. При опиливании свободно выступающего конца изделие вибрирует, что приводит к неправильному опиливанию. В этом случае применяют зажимные угольники (рис. 6-12, *б*).

Круглые изделия, в особенности тонкостенные трубы, зажимаются в специальных вставках, имеющих призматические выемки (рис. 6-12, *в*).

Для грубой обработки вполне пригодны рифленые губки в параллельных тисках, но когда появляется опасность деформации изделия или повреждения его поверхности, нужно применять, кроме основных, еще и накладные губки (рис. 6-12, *г*) из мягких металлов, например из красной меди, алюминия или свинца.

Накладные губки полезно применять не только для предохранения от порчи закрепляемых деталей, но и для защиты основных губок тисков от повреждения их напильником и для предохранения от порчи самих напильников.

Полированные изделия, требующие дополнительной обработки, надо зажимать в картонных или кожаных вкладышах, приклеенных к рифленым губкам тисков клеем или клейким воском.

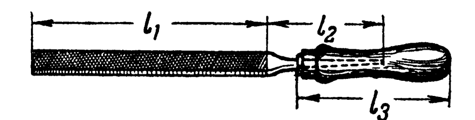


Рис. 6-13. Насадка ручки напильника.

l_1 — рабочая длина напильника; l_2 — длина хвоста; l_3 — длина ручки, равная $^3/_2$ длины хвоста.

Выбор напильников для опиливания производится в соответствии с формой, размерами и твердостью опиливаемой заготовки и характером опиливания.

С точки зрения характера опиливания можно различать: 1) грубую обработку (обдирка), когда снимается много металла; 2) предварительную подготовку изделий к более точной отделке и 3) отделку изделий с той или иной степенью точности.

Напильники различают по размерам, форме и типу насечки. По типу насечки различают напильники драчевые, личные и бархатные. Насечки бывают ординарные и перекрестные (двойные). Для твердых металлов более пригодна перекрестная насечка, для мягких — ординарная.

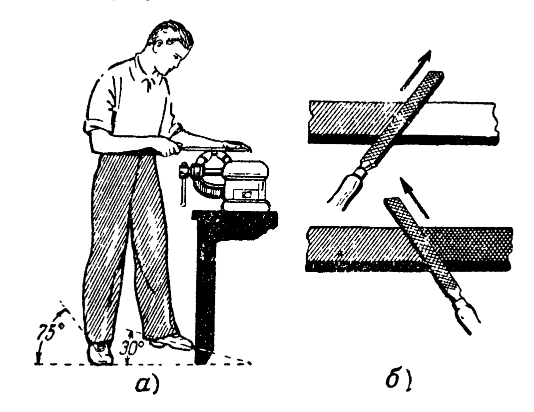


Рис. 6-14. Крепление тисков к столу, рабочая «стойка» при работе напильником и опиливание вперекрестку.

Особый класс напильников образуют рашпили, у которых насечка представляет большие короткие зубцы в виде пирамидок, расставленных в шахматном порядке.

Для удобства работы с напильниками на них насаживают ручки (рис. 6-13).

Положение тела (стойка) рабочего (рис. 6-14, *а*) при опиливании и самый процесс опиливания имеют не меньшее значение для качества работы, чем выбор напильника. Правильное положение тела предотвращает преждевременное утомление. Параллельные ходы напильника — непременное условие получения безупречных плоскостей. Напильник можно двигать только в его осевом, продольном направлении, но ни в коем случае не в косом, так как тогда он рвет поверхность.

Чтобы проверить, в каких местах напильник опиливает, надо от времени до времени менять направление опиливания (рис. 6-14, *б*), тогда получаются противоположные полоски и по отблеску ясно видно, где надо изменить обработку или направление опиливания. Усилие рук при опиливании должно изменяться таким образом, чтобы при движении напильника вперед усилие правой руки увеличивалось, а левой уменьшалось.

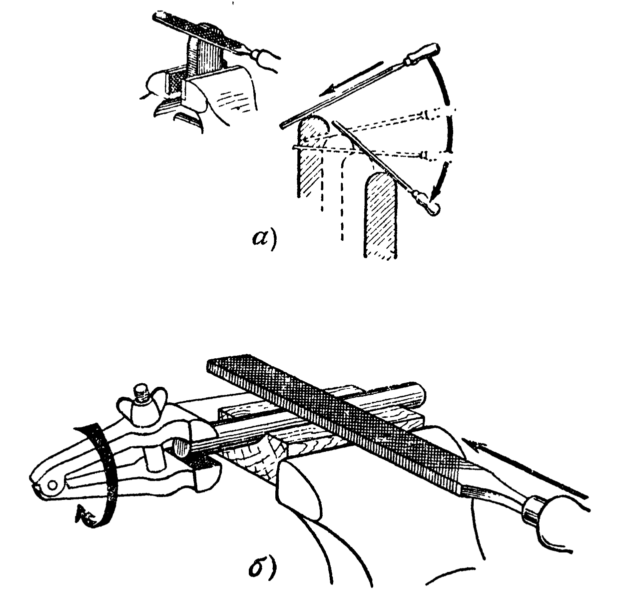


Рис. 6-15. Опиливание закруглений и круглых стержней.

Закругления следует всегда опиливать сначала в поперечном направлении. Только при последующей отделке их опиливают продольно, чтобы придать им гладкость (рис. 6-15, *а*). Начиная с задней кромки закругления, надо вести напильник в продольном направлении вперед и в то же время по дуге окружности вокруг закругления так, чтобы хвостовой край насечки отделывал переднюю кромку.

Круглые предметы можно опиливать в призме, причем их в процессе опиливания непрерывно поворачивают в направлении опиливания (рис. 6-15, *б*).

Применение напильников различной формы определяется формой обрабатываемой поверхности (рис. 6-16)

Правильность опиливания плоскостей проверяют стальной линейкой, для чего ставят ее наклонно ребром на изделие и держат против света линейку и изделие. Наличие просветов указывает на наличие неровностей. Обработку надо продолжать, пока не будет просвета в месте соприкосновения линейки и изделия.

Основные правила опиливания. 1. Верхний край тисков должен находиться на уровне локтя. 2. Поверхности вставок тисков надо очищать от стружек и хорошо смазывать. 3. Рукоятку тисков следует затягивать только вручную. 4. Изделие нужно зажимать плотно, чтобы обрабатываемая поверхность была неподвижна и не пружинила. 5. Никогда не следует зажимать изделие за его конец. 6. Круглые изделия и трубы нужно зажимать в тисках между призмами. 7. Плоские широкие части, которые трудно закрепить в тисках непосредственно, надо укреплять (гвоздями) на деревянной планке и зажимать в тисках эту планку. 8. Изделия, которые легко повредить, зажимаются между вставками из мягкого металла (свинца), картона или кожи. 9. При опиливании надо принять правильную стойку. Верхняя часть туловища должна оставаться спокойной; перемещать главным образом руки. 10. Размеры напильника определяются размерами обрабатываемой поверхности: чем больше поверхность, тем больше должен быть размер напильника. 11. Драчевые напильники предназначаются для грубого опиливания (когда надо снять слой толще чем 0,2—0,5 *мм*). 12. Личные напильники служат для дальнейшей отделки грубо обработанных поверхностей (точность от 0,02 до 0,2 *мм*) 13. Бархатными напильниками производится окончательная отделка (точность от 0,005 до 0,01 *мм*) высококачественных частей. 14. Для обработки небольших участков отверстий и мелких деталей применяют маленькие напильники (надфили). 15. Свинец, олово, алюминий и его сплавы, а также мягкие металлы предварительно опиливаются рашпилями и дополнительно драчевыми и полудрачевыми напильниками. Личные напильники применять для опиливания этих материалов не следует. 16. Никогда не надо опиливать закаленные части. 17. Новые напильники сначала нужно применять для опиливания латуни, меди, алюминия, более старые — для стали и тупые — для чугуна и шероховатых поверхностей. 18. Заусенцы снимаются личным напильником. 19. На рабочем месте должно лежать столько напильников, сколько требуется для данной работы. 20. По окончании работы напильники убираются в ящик вычищенными. 21. Не следует бросать напильники и класть их друг на друга. 22. Чистку напильника с забитой насечкой нужно производить только щетками и кистями из мягкой стальной проволоки.

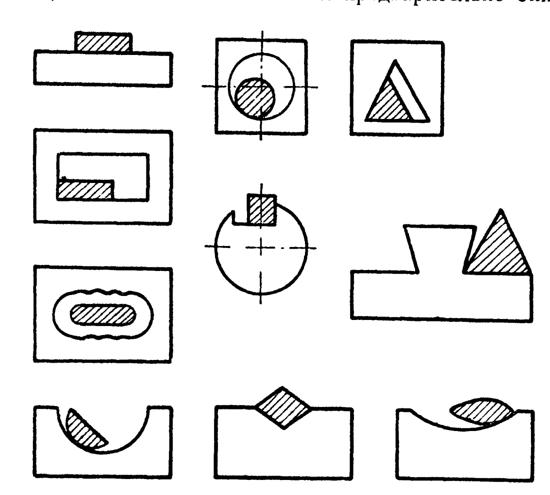


Рис. 6-16. Примеры применения напильников различной формы.

Обработка поверхностей. Наряду с отделкой поверхностей напильниками практикуются и другие приемы обработки поверхностей, из которых в радиомастерской могут применяться: а) шлифовка вращающимся шлифовальным кругом или вручную наждаком; б) травление (сталь — 10%-ным раствором серной кислоты с дальнейшим споласкиванием в слабом растворе соды, алюминий — 10%-ным раствором едкой щелочи с споласкиванием в 1%-ном растворе соляной кислоты); в) чистка вращающейся проволочной щеткой; г) бархатное опиливание напильниками или шабрение (выскабливание своего рода стамесками — шаберами); д) полирование (матерчатыми кругами с нанесенными на них полирующими пастами — ГОИ, крокс) прошедших хорошую предварительную обработку поверхностей; е) покрытие бесцветным защитным лаком (лакировка цапоновым лаком) высококачественно обработанных или полированных поверхностей.

6-4 Сверление, развертывание отверстий и раззенковывание

Сверление. Для сверления металлов и изолирующих материалов применяются в настоящее время почти исключительно спиральные сверла и только для особо малых отверстий (приблизительно от 0,05 до 0,2 *мм*) перовые сверла.

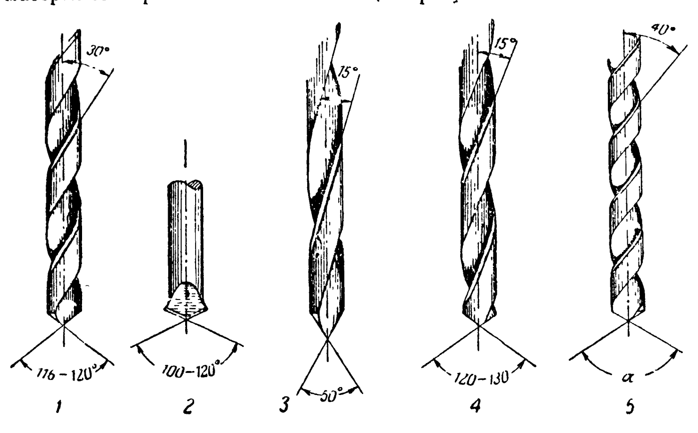


Рис. 6-17. Сверла.

1 — спиральное сверло общего назначения; 2 — перовое сверло, 3 — сверло для сверления некерамических изоляционных материалов, 4 — сверло для сверления латуни и алюминиевых сплавов; 5 — сверло для сверления красной меди ($\alpha = 125°$) и алюминия ($\alpha = 140°$).

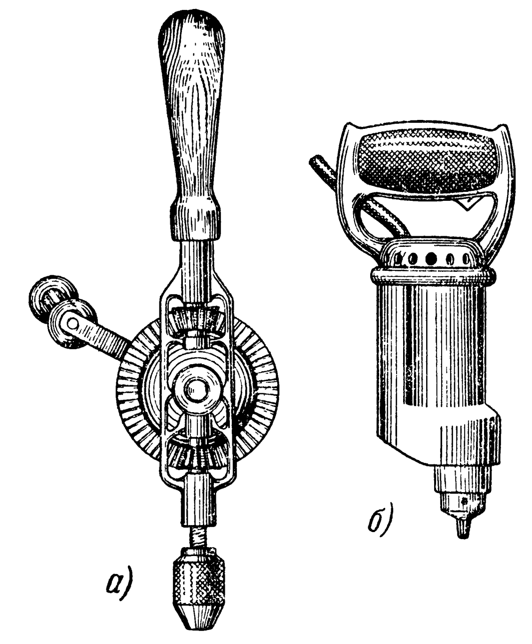


Рис. 6-18. Малые ручная (*а*) и электрическая (*б*) дрели.

Спиральное сверло (рис. 6-17) обладает спирально изогнутой плоскостью резания с центрически к ней пришлифованным углом при вершине, который в среднем должен равняться 116—120° применительно к большинству твердых и мягких материалов. Наряду с углом при вершине для характеристики спирального сверла имеет существенное значение угол наклона канавки относительно продольной оси. Этот угол в среднем равняется 30—35°. Для сверления некоторых металлов и изолирующих материалов применяются специальные спиральные сверла, обеспечивающие более производительную работу.

Сверление производится ручной или электрической дрелью (рис. 6-18), а также на сверлильных станках. Для получения круглых отверстий требующегося диаметра дрель при сверлении должна быть расположена точно по отвесу.

Сверлильный станок с механическим приводом для достижения большей производительности требует правильного выбора числа оборотов, скорости резания и подачи, которые зависят от твердости и рода обрабатываемого материала и от диаметра отверстия.

Нужно применять при сверлении охлаждающие средства, одновременно служащие и для смазки. При сверлении твердой стали применяют скипидар или смесь из мыльной воды и льняного вареного масла для красной меди — вареное масло, для мягкой стали — вареное масло или мыльную воду или же слабый раствор соды, для мягких металлов, как, например, алюминий — керосин. Небольшие отверстия в латуни сверлят без охлаждения при большом числе оборотов и большой подаче. При сверлении чугуна и бронзы применять эмульсии не следует, потому, что мелкие опилки этих металлов, попадая в эмульсию, способствуют еще большему нагреванию и износу сверла.

Некоторые правила сверления. 1. Заточка сверла должна быть строго центрована и ее следует, по возможности, производить на специальном станке. 2. Закрепив сверло в патроне, надо проверить, что оно не бьет. 3. При сверлении больших отверстий предварительно просверливаются направляющие отверстия небольшим сверлом. 4. Сталь и алюминий требуют при сверлении особенно сильного охлаждения. 5. Тупыми сверлами работать нельзя, так как они нагреваются и теряют свою закалку.

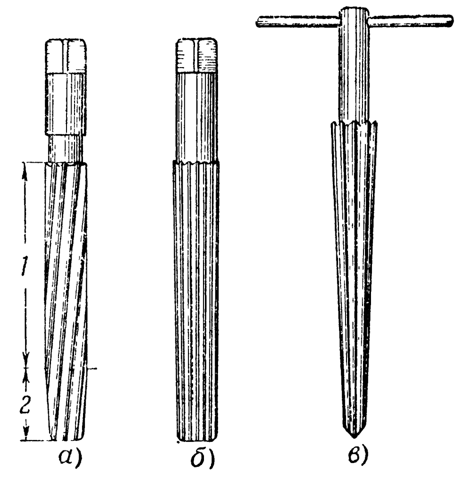


Рис. 6-19. Развертки.

а — цилиндрическая развертка (1— калиброванная часть, 2— «заборная» часть); *б* и *в* — конические развертки.

Развертывание отверстий. Отверстия, в которых точность диаметра и гладкость стенок имеют большое значение, дополнительно разворачиваются раз-

вертками. Просверлив отверстие на 0,1—0,2 *мм* уже требующегося, его развертывают затем до точного размера соответствующей разверткой (рис. 6-19).

Различаются ручные и машинные, приспособленные для крепления на станках, развертки. Ручные развертки бывают прямые и конические. Зубья у прямых разверток бывают прямые, параллельные оси, или расположенные по винтовой линии. Конические развертки служат для развертывания отверстий под конические штифты.

Раззенковывание. Отверстия иногда раззенковываются для получения особенно гладкой поверхности и для введения в них винтов с потайными головками, заклепок с утопленными головками и т. п. Различают перовые (плоские), спиральные зенкеры и зенковки, служащие для рассверливания выходной части отверстия (рис. 6-20). Для получения гладких раззенковок рекомендуется при

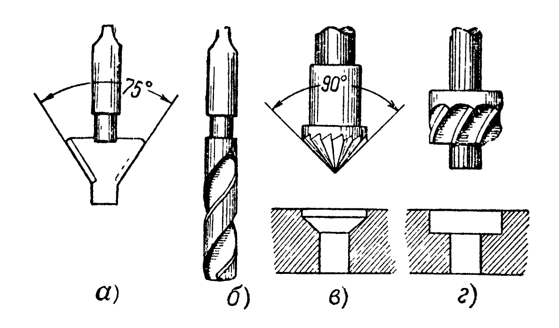


Рис. 6-20. Зенкеры и зенковки.

а — перовой зенкер; *б* — спиральный зенкер; *в* — коническая зенковка; *г* — цилиндрическая зенковка.

раззенковывании отверстий пользоваться тем же смазочным материалом, с каким они были просверлены.

Для конического раззенковывания отверстий пригодны также спиральные сверла с углом при вершине 90°. Зенкер или спиральное сверло должны соответствовать диаметру головки винта, чтобы, кроме конуса, раззенкован был небольшой цилиндр: тогда поверхность головки винта и поверхность изделия будут лежать в одной плоскости.

6-5. Клепка

Клепка применяется главным образом при соединении листовых материалов или плоских деталей. Заклепочное соединение может быть закрытым (потайная клепка) или открытым, когда головка заклепки выступает над поверхностью детали. Потайная клепка применяется при соединении сравнительно толстых листов.

Распространенными заклепками являются заклепки с полукруглой, конической и плоской головками; кроме того, применяются пустотелые заклепки (пистоны). При потайной клепке заклепочные отверстия, просверленные по диаметру стержня заклепки, раззенковываются с наружных сторон перовым или спиральным зенкером с углом около 75° (рис. 6-21, *а*). После расклепки выступающие части гладко опиливаются.

Открытая клепка с применением заклепок с полукруглой головкой выполняется так, как это указано на рис. 6-21, *б*. Склепываемые части уплотняют друг с другом при помощи натяжки. Затем расклепывают выступающий стержень заклепки и с помощью обжимки придают ему вид полукруглой головки. Выступающий конец заклепки должен быть не длиннее 1—1,5 диаметра заклепочного отверстия. Слишком длинные стержни заклепок надо предварительно укорачивать. Для получения прочного заклепочного соединения обжимка должна при клепании стоять вертикально.

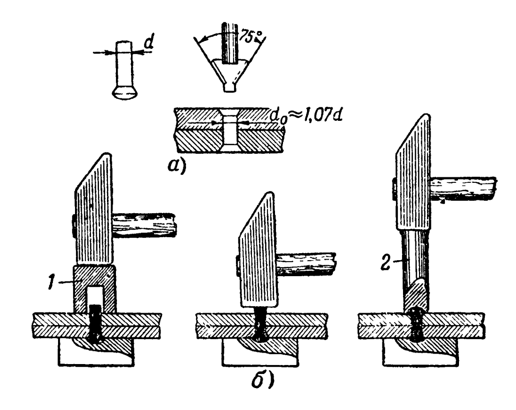


Рис. 6-21. Заготовка отверстия под заклепку (*а*) и открытая клепка (*б*).

1 — натяжка; *2* — обжимка.

Клепка пистонами показана на рис. 6-22. Развальцовка кернером недостаточно прочна и является предварительной операцией. При отсутствии специальной обжимки окончательное закрепление производится ударами небольшого молотка.

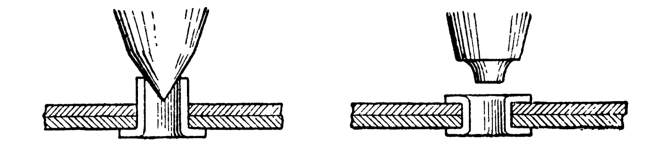


Рис. 6-22. Клепка пистонами.

Латунь и алюминий во избежание их коррозии можно склепывать только заклепками из того же материала, т. е. соответственно латунными и алюминиевыми. Для жести, стали и меди пригодны также заклепки из мягкой стали.

6-6. Нарезание резьбы

Главными видами резьбы являются метрическая основная, метрическая мелкая и дюймовая. В практике радиомастера применяется почти исключительно система метрической резьбы. Наиболее употребительны в ней наружные диаметры (болта): 1,7; 2; 2,6; 3; 3,5; 4; 5; 6; 8; 10 *мм*. В системе дюймовой резьбы наиболее употребительны номинальные диаметры: 1/4″; 5/16″; 3/8″; 1/2″.

Гайки (внутренняя резьба) нарезаются метчиком, вставляемым в вороток (рис. 6-23, *а*), болты (наружная резьба) — круглыми или призматическими плашками, вставляемыми в клупп (рис. 6-23, *б*). Диаметр отверстия под резьбу, а следовательно, и диаметр сверла должны соответствовать внутреннему диаметру нарезки, который можно при метрической резьбе приближенно определить умножив наружный диаметр нарезки на 0,8 (рис. 6-23, *в*). Более точные данные можно получить из табл. 6-1.

Перед началом нарезания выходная часть отверстия раззенковывается под наружный диаметр нарезки.

Таблица 6-1

Наружный диаметр нарезки, *мм*	1	1,2	1,4	1,7	2	2,3	2,6	3	3,5	4	5	6	8	10	12
Диаметр сверла, *мм*	0,75	0,95	1,1	1,3	1,6	1,9	2,1	2,5	2,9	3,3	4,1	4,8—4,9	6,5—6,7	8,2—8,4	9,9—10,2

Для мелкой резьбы существуют метчики с удлиненной заборной частью, которыми нарезают резьбу в один проход. Резьбу более крупную или в более вязких материалах нарезают в три прохода и применяют для этого набор из трех метчиков: 1) чернового или начального; 2) получистового, или среднего, и 3) отделочного. Метчики в этом порядке помечены цифрами или отличаются соответственным числом колец на хвосте.

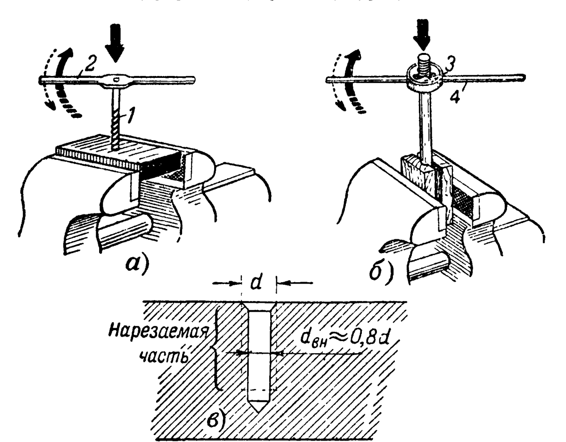


Рис. 6-23. Нарезание резьб.

а — внутренней резьбы; *б* — наружной резьбы, *в* — заготовка отверстия и стержня под резьбу. *1* — метчик; *2* — вороток; *3* — плашка; *4* — клупп.

Внутреннюю резьбу, как уже указывалось, нарезают при помощи воротка с четырехгранным отверстием, в которое вставляется метчик. Направлять метчик надо всегда вертикально. При нарезании резьбы обычно делают один оборот (сплошная стрелка), затем полоборота назад (пунктирная стрелка), потом опять один оборот и т. д. (рис. 6-23, *а*). Это делается для получения более короткой и легко отделимой стружки.

Наружную резьбу (рис. 6-23, *б*) нарезают на стержнях, обточенных до диаметра, равного наружному диаметру нарезки. Если стержень (болт) зажимается в тисках обработанной стороной, то это нужно делать с помощью призм Плашку навертывают на стержень, так, чтобы плоскость ее была строго перпендикулярна стержню. Резьбу нарезают так же, как и метчиком, т. е. после каждого оборота по часовой стрелке делают полоборота в обратном направлении и т. д.

При нарезании резьб следует пользоваться смазочными материалами (см. табл. 6-2). При нарезании грубых резьб во всех случаях можно пользоваться салом или в крайнем случае, машинным маслом.

Таблица 6-2

Обрабатываемый материал	Смазочный материал
Сталь	Вареное сурепное масло, лярдовое масло
Чугун	Сало, керосин
Медь	Лярдовое масло, скипидар
Латунь	Мыльная вода, акволь
Алюминий	Керосин
Эбонит	Машинное масло

6-7. Правка и изгибание

Правка. Для получения плоских поверхностей исправления короблений и т. п., используют прием называемый правкой или рихтовкой. Прежде всего надо найти на материале покоробленные места и обвести их мелом. Затем выпрямляемый материал (лист, полосу и пр.) кладут на специальную плиту, называемую рихтовочной при этом выпуклости должны быть обращены наружу

Процесс правки состоит в нанесении равномерных ударов молотком вне пределов покоробленных мест. Это приводит к натягиванию покоробленных частей материала, в результате чего они выпрямляются. Как располагать удары молотка показано на рис. 6-24.

Стальные листы толщиной от 1 *мм* и толще правят деревянным или гладко отшлифованным стальным молоточком с выпуклым бойком (гладильником). Жесть и мягкие материалы правят деревянным, свинцовым или резиновым молотком. Нельзя ударять боковыми гранями молотка, а также наносить удары по самим выпуклостям

Изгибание. Изгибание под прямым углом производят непосредственно в тисках, наметив предварительно риской линию изгиба на материале. Чтобы точнее определить размеры, нужно помнить, что внутренняя стенка в месте

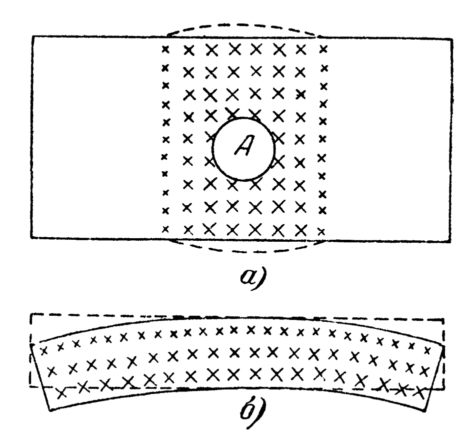


Рис. 6-24. Правка.

а — устранение вмятин (*А*); *б* — правка полосы. Крестиками намечены точки нанесения ударов молотком. Чем больше крестик, тем сильнее удар в соответствующей точке. Пунктирными линиями показаны контуры листа после правки.

перегиба сжата, а наружная — растянута (рис. 6-25, *а*); в неизменном состоянии остается только средняя линия — так называемое нейтральное волокно. Если, например, снаружи полка угольника должна быть длиной 50 *мм* при толщине материала 4 *мм*, то при нанесении внутренней линии перегиба надо вычесть половину толщины — 2 *мм* (а не всю толщину 4 *мм*), т. е. длину принять равной 48 *мм*.

Изгибание в тисках производят равномерными ударами молотка (рис. 6-25, *б*). Чтобы не повредить изгибу, риска на листах должна быть неглубокой. Заготовки большого сечения отжигаются перед изгибанием, чтобы не появились в них трещины. Мягкие материалы надо обрабатывать деревянным или резиновым молотком, зажимая материал в тисках со вставными губками. Удары молотком наносят через прокладку (стальную плитку). Начинают изгибание осторожными ударами молотка по всей выступающей из тисков поверхности, начиная с края. Затем переносят удары молотка непосредственно на кромку образующегося угла, чтобы он получился острым.

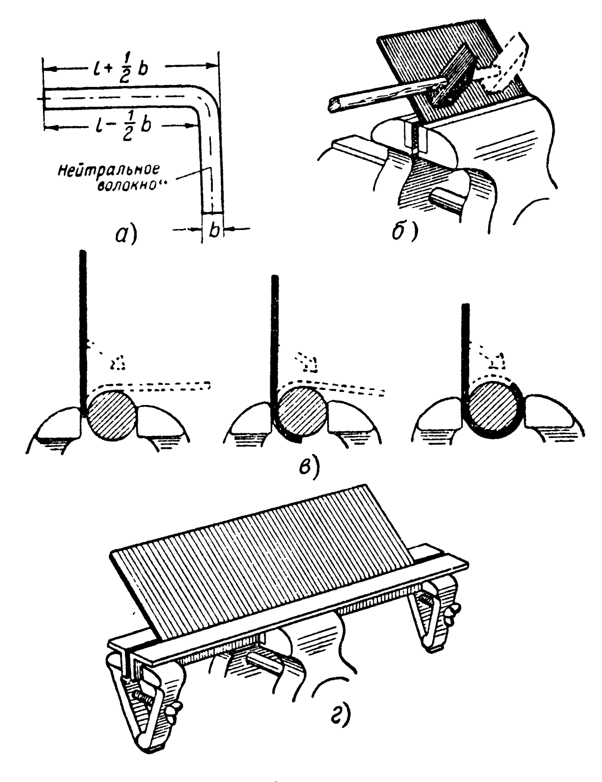


Рис. 6-25. Изгибание.

а — деформация листа при изгибании; *б* — изгибание полосы под прямым углом; *в* — изгибание полосы по кругу; *г* — изгибание больших листов.

Если профиль изделия таков, что при изгибании нельзя заготовку непосредственно зажать в тисках, то применяют вспомогательные колодки. Например, чтобы выгнуть полосу по кругу, применяют деревянную колодку соответствующего диаметра (рис. 6-25, *в*). Для начала образуют полукруг, который постепенно, несколько раз переставив лист в тисках, превращают в полный круг.

Изгибание больших листов (рис. 6-25, *г*) осуществляется следующим образом. Загибаемый лист закладывается между двумя жесткими полосами или угольниками и вместе с ними зажимается в тиски. Свободные концы полос стягиваются ручными тисочками. Изгибая лист, нельзя наносить удары непосредственно по листу; надо в качестве прокладки применить стальную плиту или полосу с гладкой поверхностью. Зажимное приспособление для листа ни в коем случае не должно быть короче линии перегиба.

6-8. Паяние

Различают паяние мягким и твердым припоем. Последний вид паяния в практике радиомастера употребляется редко. В качестве твердых припоев применяют медь, латунь, серебро и сплавы серебра с медью и цинком с применением буры в качестве флюса.

Радиомастеру совершенно необходимо владеть паянием мягким припоем. Тут связующим средством между металлами служит тот или иной мягкий припой, плавящийся при сравнительно низкой температуре. Мягкий припой представляет обычно сплав олова со свинцом, с содержанием олова 30—60%. Содержание олова в припое можно установить по характерному хрусту, который издает припой при сгибании его. Хруст тем сильнее, чем больше процент олова.

В соответствии со стандартом оловяно-свинцовые припои маркируются буквами ПОС и числом, указывающим содержание олова в процентах. С увеличением процента олова от 18 до 64 температура плавления припоя

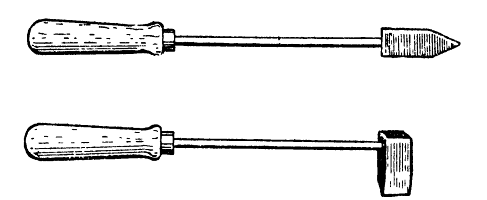


Рис. 6-26. Молотковые паяльники.

понижается от 240 до 180° С. Однако олово является дорогим дефицитным материалом, поэтому рекомендуется применение сплавов с умеренным содержанием олова (чаще всего ПОС-30).

При необходимости производства пайки при пониженной температуре употребляют припои, включающие в себя кадмий или висмут. Так, припой, состоящий из одной части олова, одной части свинца и двух частей висмута плавится при температуре 100—110° С. Такие припои удобны при пайке печатных схем, к слоям вожженного в керамику серебра, при впаивании полупроводниковых приборов, не допускающих перегрева.

Паяльники бывают различной величины и выбираются в зависимости от величины спаиваемых предметов. Наиболее распространены молотковые паяльники (рис. 6-26), разогреваемые на огне, и электрические паяльники, разогреваемые электрическим нагревательным элементом (рис. 6-27). Из электрических паяльников особенно удобны низковольтные (на 6-18 *в*), которые долговечнее и безопаснее в работе.

Для больших поверхностей надо применять тяжелые паяльники с широкими наконечниками. Для паяния соединительных проводов применяют небольшие паяльники с узкими наконечниками. Длинные и, если нужно, изогнутые наконечники не только делают более доступными для паяльника места спайки, но и равномернее разогревают поверхность паяния.

Нужно постоянно поддерживать наконечник паяльника в чистом состоянии и через определенные промежутки времени опиливать его или обрабатывать проволочной щеткой и сейчас же после этого наново лудить. Если электрический паяльник имеет сменный наконечник и работает непрерывно, то по меньшей мере через каждые двое суток такой паяльник нужно чистить, чтобы вставной его наконечник не заедал в патроне. При этом необходимо конец, входящий в патрон, вычистить стальной щеткой.

Тонкие провода, диаметром до 0,1 *мм*, удобно паять специальными малыми паяльниками или надев на обычный паяльник дополнительный стерженек (рис. 6-28). Применяют также сваривание тонких проводов в пламени спир-

товки или спички после того, как концы соединяемых проводов без зачистки скручены, но тогда следует после сваривания проверить омметром надежность контакта места спаивания.

Простой сварочной аппарат с питанием переменным током для радиомонтажа представлен на рис. 6-29. Сва-

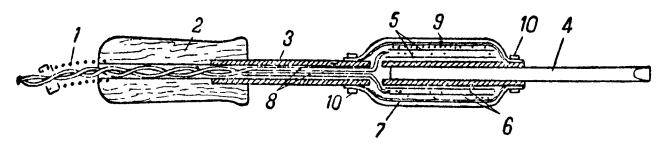


Рис. 6-27. Электрический паяльник.

1 — пружина; 2 — ручка; 3 — трубка; 4 — медный стержень, 5 — слюда; 6 — нагревательная обмотка в один—два слоя; 7 — обмотка из асбестового картона или шнура; 8 — провода, обмотанные асбестовым шнуром; 9 — кожух; 10 — кольца

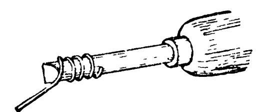


Рис. 6-28. Насадка на паяльнике из медного стерженька длиной 15—20 *мм*.

ривание позволяет получить прочное соединение немедных проводников (в проволочных сопротивлениях, паяльниках и пр.), что бывает трудно осуществить паянием мягкими припоями.

При паянии мягким припоем необходимо места спайки предварительно тщательно зачистить ножом, шабером, напильником или наждачной бумагой; провода с эмалевой изоляцией в местах,



Рис. 6-29. Сварочный аппарат для сварки проводов.

1 — угольный стержень диаметром 4—6 *мм*, 2 — держатель из латуни.

подлежащих пайке, сначала обжигаются, а затем погружаются в спирт. Но этого еще недостаточно, так как нагрев металлов вызывает их окисление, препятствующее паянию. Чтобы уменьшить его или вызвать раскисление, применяют так называемые флюсы (плавни), которые наносят на место пайки вместе с припоем. При этом сначала производится облуживание каждой из спаиваемых поверхностей, а затем пайка.

В радиомонтаже наиболее распространенным флюсом является канифоль. Наряду с твердой канифолью удобно

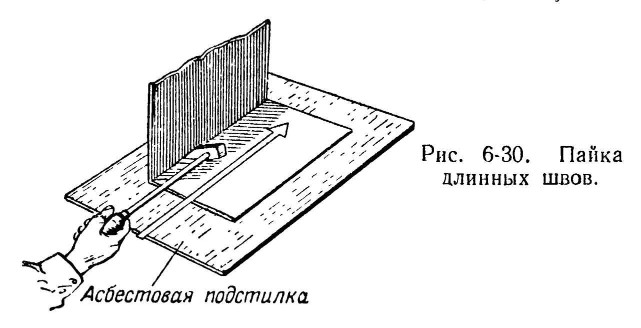


Рис. 6-30. Пайка длинных швов.

применение канифольного лака (раствор одной части измельченной в порошок канифоли в двух частях спирта) который наносят на место паяния кисточкой. Часто, особенно при изготовлении радиоприборов, применяют тонкие оловянные трубки, наполненные канифолевым флюсом. Конец такой трубки упирается в место спайки и расплавляется паяльником. Спайка получается прочной и чистой.

Применять травленую цинком соляную кислоту и нашатырь при монтаже радиоаппаратуры нельзя, так как эти вещества разрушают изоляцию проводов.

Для аккуратной пайки необходимо, чтобы место спая не подвергалось излишне долгому прогреву, так как при этом припой ложится неровным слоем. Чистая пайка требует известного навыка, приобретаемого только опытным путем. Длинные швы следует паять в один проход. Чтобы при тонкостенных изделиях и листах затруднить отвод тепла, рекомендуется применять подкладки из дерева или асбеста (рис. 6-30) и, если это возможно, предварительно подогревать спаиваемые части.

6-9. Важнейшие станки

Токарные станки служат для механической обработки твердых материалов путем обтачивания заготовки с помощью резцов (рис. 6-31).

Два основных типа токарных станков и важнейшие их части представлены на рис. 6-32 и 6-33.

Для закрепления заготовок применяются специальные приспособления: цанги, кулачковые патроны, планшайба и центра (обычно в сочетании с поводковым патроном и хомутиком). Основные приемы закрепления различных заготовок при помощи этих приспособлений показаны на рис. 6-34.

При закреплении заготовки надо обращать внимание на отсутствие биения.

Важнейшие типы токарных резцов изображены на рис. 6-35. Резец также должен быть плотно зажат в держателе. Правильную установку резца иллюстрирует рис. 6-36.

Углы резца должны соответствовать свойствам материала и характеру его обработки. Для твердых, а также хрупких материалов применяются резцы с относительно тупыми углами заострения β. Чем мягче материал, например, латунь, мягкая сталь и т. п., тем острей берется угол заострения β и больше передний угол γ. Для мягких металлов и чистого алюминия оба угла приблизительно одинаковы (около 40°).

Основные приемы обработки заготовок на токарном станке показаны на рис. 6-37

Обработку можно вести только по такой длине, в пределах которой изделие не пружинит. Высококачественные изделия надо обрабатывать между центрами (рис. 6-34), причем сперва обрабатывается одна сторона изделия, затем оно перезакрепляется и обрабатывается во второй своей части.

Наряду с резцами при токарных работах находят применение сверла, развертки и зенкеры (для высверливания центральных отверстий), а также метчики и плашки (для нарезания внутренней и внешней резьб).

Сверла, развертки и зенкеры закрепляются неподвижно в задней бабке и подача их осуществляется вращением маховика подачи шпинделя задней бабки.

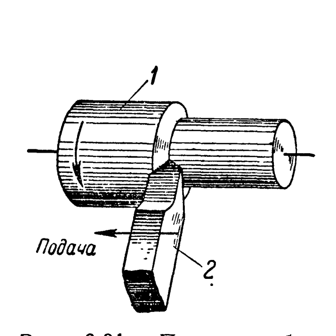


Рис. 6-31. Принцип обработки на токарном станке.

1 — обрабатываемая деталь; *2* — резец.

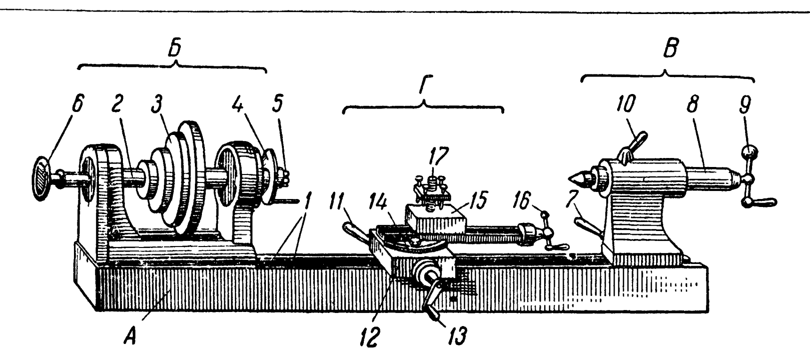


Рис. 6-32. Настольный токарный станок.

А — станина (*1* — параллели); *Б* — передняя бабка (*2* — шпиндель; *3* — ступенчатый шкив для приводного ремня; *4* — поводковый патрон; *5* — цанга; *6* — рукоятка для затягивания цанги); *В* — задняя бабка (*7* — зажим задней бабки; *8* — шпиндель; *9* — маховик подачи шпинделя; *10* — зажим шпинделя); *Г* — суппорт (*11* — зажим суппорта; *12* — поперечная каретка; *13* — маховик поперечной подачи; *14* — поворотный конус; *15* — продольная каретка; *16* — маховик продольной подачи; *17* — резцедержатель).

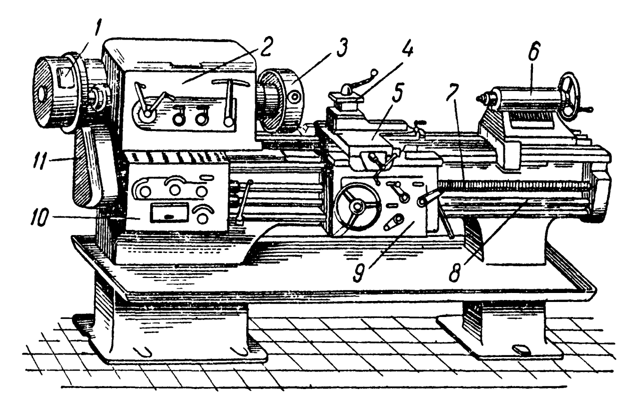


Рис. 6-33. Винторезный токарный станок.

1 — приводной шкив; *2* — передняя бабка с коробкой скоростей, *3* — кулачковый патрон; *4* — поворотный резцедержатель; *5* — суппорт; *6* — задняя бабка; *7* — резьбовой винт; *8* — ходовой валик; *9* — фартук; *10* — коробка подач; *11* — гитара.

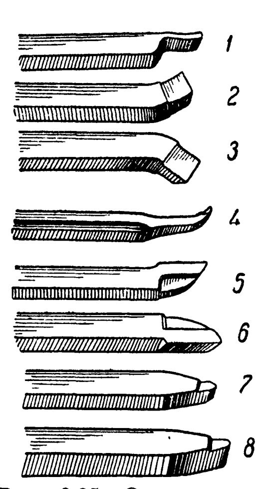


Рис. 6-35. Основные типы резцов.

1 — отрезной; *2* — проходной правый; *3* — проходной левый; *4* — расточной; *5* — подрезной правый; *6* — подрезной левый; *7* — зуборезный; *8* — фасонный.

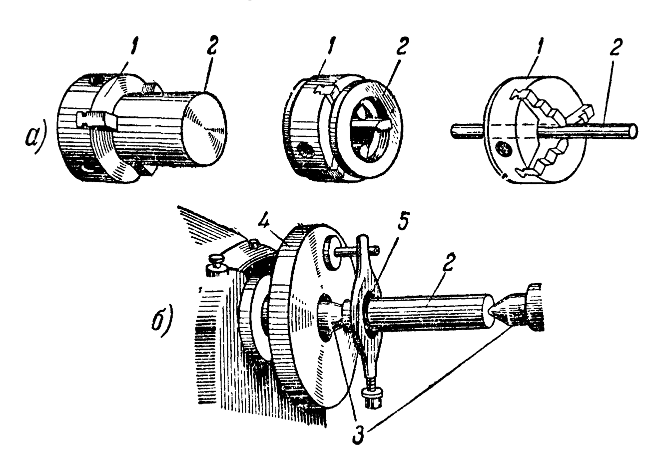


Рис. 6-34. Приспособления для закрепления заготовок на токарном станке.

а — крепление заготовок в кулачковом патроне; *б* — крепление в центрах. *1* — кулачковый патрон; *2* — заготовка; *3* — конические центры; *4* — поводковый патрон; *5* — хомутик.

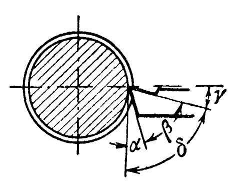


Рис. 6-36. Установка резца и углы при резании.

α — задний угол;
β — угол заострения,
γ — передний угол;
δ — угол резания.

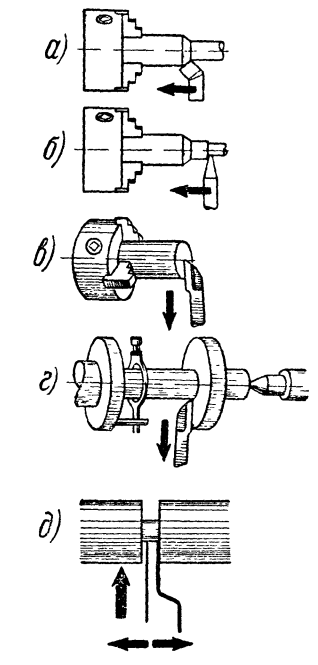


Рис. 6-37. Основные приемы токарных работ.

а — грубое обтачивание, *б* — чистовая обработка фасонным резцом; *в* — подрезка справа; *г* — подрезка слева; *д* — отрезание.

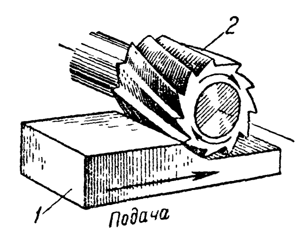


Рис. 6-38. Принцип обработки на фрезерном станке.

1 — обрабатываемая деталь, *2* — фреза.

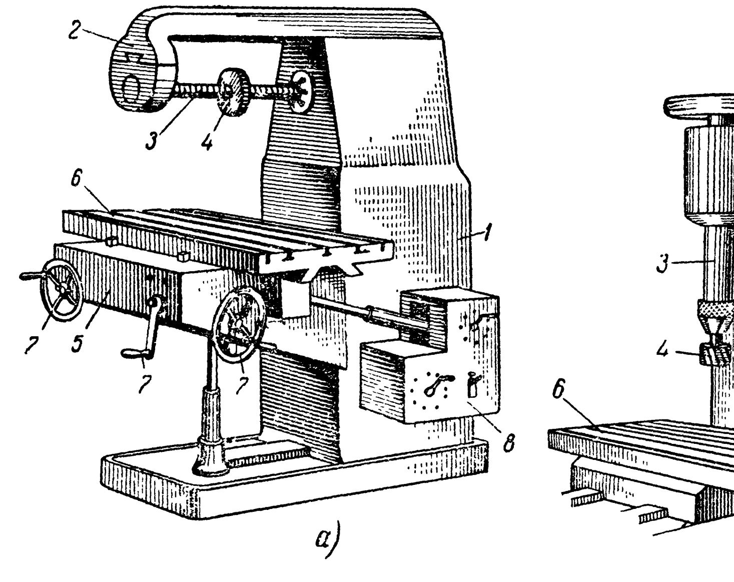
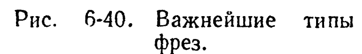


Рис. 6-39. Фрезерные станки.

а — горизонтальный; *б* — вертикальный. *1* — станина; *2* — хобот; *3* — шпиндель, *4* — фреза; *5* — кронштейн; *6* — стол; *7* — маховики подач (вертикальной и горизонтальной); *8* — коробка переключения числа оборотов и подач.



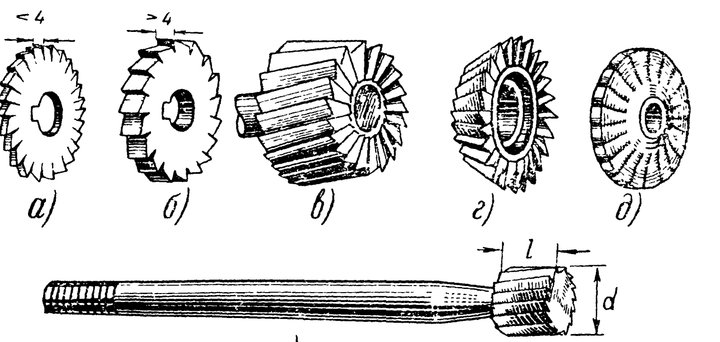


Рис. 6-40. Важнейшие типы фрез.

а — дисковая шлицевая; *б* — дисковая пазовая; *в* — барабанная двухсторонняя; *г* — фасонная угловая, *д* — фасонная модульная, *е* — цилиндрическая с хвостовиком ($l > d$).

Как при сверлении и при нарезании резьбы, так и при токарной работе важную роль играют смазка и охлаждение. Существенное значение для качества работы имеет правильная скорость резания. Латунь, медь, алюминий обычно можно обрабатывать с большой скоростью резания, т. е. с большим числом оборотов и большей подачей (под подачей понимается путь, проходимый резцом относительно заготовки за один оборот последней).

Фрезерные станки позволяют выбирать в металлических изделиях различной формы углубления, канавки, пазы, а также вытачивать зубья шестерен и т. п. При этом обрабатываемое изделие получает поступательное движение, а особой формы резец (фреза) вращается (рис. 6-38). Фрезерные станки (рис. 6-39) делятся на горизонтальные и вертикальные: у первых шпиндель, а с ним и фреза расположены горизонтально, у вторых — перпендикулярно к рабочему столу. В столе вырезаны пазы для закрепления в нем тисков, в которые может быть зажато изделие. При фрезеровании шестерен заготовка зажимается в делительной головке, которая укрепляется в пазах стола вместо тисков и позволяет поворачивать заготовку на различные доли окружности. Важнейшие типы фрез (цилиндрические, торцевые, дисковые, пазовые угловые и зуборезные) показаны на рис. 6-40.

Плоскошлифовальный станок служит для точной обработки плоских поверхностей у стальных изделий. Для закрепления изделий он снабжен электромагнитным держателем· сильный электромагнит обеспечивает плоское расположение и предотвращает перекосы.

Гибочный станок дает возможность загибать кромки на листах при изготовлении кожухов шасси, серийное производство которых в тисках было бы слишком сложно и дорого

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ И РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

7-1. Конструкции электроизмерительных приборов и условные обозначения

Магнитоэлектрическая система. Это — основной тип прибора постоянного тока, а в сочетании с соответствующими выпрямителями (детекторными или ламповыми) — и высококачественный прибор переменного тока.

Магнитоэлектрический механизм состоит (рис. 7-1) из катушки, закрепленной на оси и вращающейся в зазоре сильного подковообразного магнита. Спиральные пружины приводят катушку в нулевое положение и в то же время служат для подвода к ней тока.

Рис. 7-1. Устройство магнитоэлектрического прибора и его условное обозначение.

1 — стрелка; *2* — равномерная шкала; *3* — магнит; *4* — полюсные наконечники (башмаки); *5* — неподвижный сердечник; *6* — вращающаяся катушка (рамка).

Когда по катушке проходит ток, то вследствие взаимодействия его с магнитным полем магнита катушка приходит во вращение и занимает вместе со скрепленной с нею движущейся по шкале стрелкой определенное положение, соответствующее равенству вращающей силы и противодействующей силы пружин. Вращающая сила нарастает прямолинейно с током, так что деления на шкале наносятся совершенно равномерно.

Присоединяя к цепи прибор, надо следить за правильной полярностью соединений, так как при обратном направлении тока в катушке она вращается в обратную сторону. Это обстоятельство используется для устройства магнитоэлектрических приборов с нулем посередине шкалы.

Электромагнитная система (рис. 7-2) может работать и при постоянном и при низкочастотном переменном токе. Принцип ее действия заключается в следующем. Укрепленная на оси стрелки пластина из мягкой стали (якорь) втягивается внутрь неподвижного электромагнита, по обмотке которого проходит измеряемый ток. Пластина поворачивается вместе со стрелкой, пока вращающее усилие не уравновесится противодействующей силой спиральной пружины. Шкала электромагнитного прибора неравномерна (деления вначале расположены теснее).

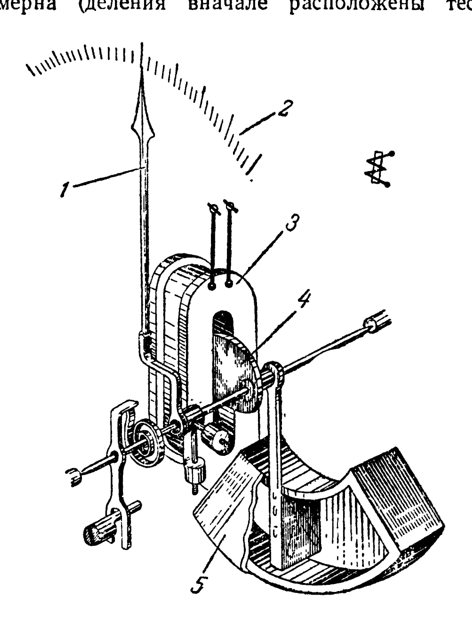


Рис. 7-2. Устройство электромагнитного прибора и его условное обозначение.

1 — стрелка; *2* — неравномерная шкала; *3* — неподвижная катушка; *4* — якорь из мягкой стали; *5* — воздушный успокоитель.

Электродинамическая система (рис. 7-3). Приборы этого рода большей частью предназначены для измерения мощности в цепях постоянного и переменного тока, т. е. служат ваттметрами. В принципе все электродинамические ваттметры основаны на взаимодействии двух магнитных полей, создаваемых двумя катушками, к одной из которых (подвижной) прикреплена стрелка. По одной катушке проходит ток измеряемой цепи, а к другой подводится напряжение, действующее в той же цепи. В связи с этим отклонение стрелки оказывается пропорционально как току, так и напряжению, т. е. мощности.

Тепловая система (рис. 7-4). Действие теплового прибора основано на тепловом расширении платино-иридиевой проволоки, по которой проходит измеряемый

ток. Так как тепловое действие тока не зависит от его частоты, то эти приборы удобны при высокочастотных измерениях. Тепловые приборы конструируются лишь

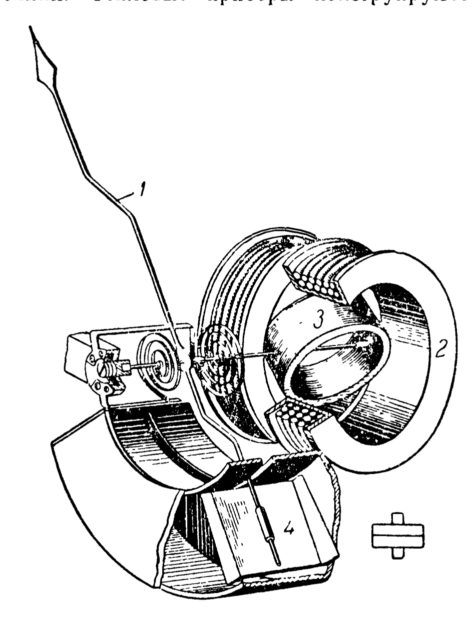


Рис. 7-3. Устройство электродинамического прибора и его условное обозначение.

1 — стрелка; 2 — неподвижная катушка; 3 — вращающаяся катушка; 4 — воздушный успокоитель.

на относительно большие токи, которые вызывают достаточное для удлинения проволочки тепловое действие. Поэтому они применяются в основном в качестве амперметров; как вольтметры такие приборы неэкономичны и не могут идти в сравнение со снабженными диодами или термоэлементами магнитоэлектрическими приборами. Шкала теплового прибора неравномерная.

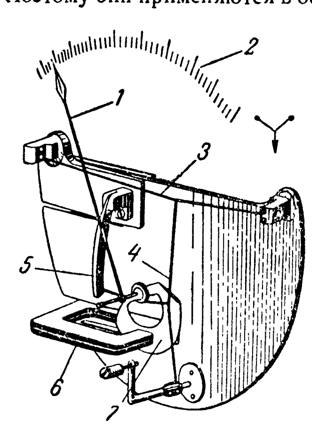


Рис. 7-4. Устройство теплового прибора и его условное обозначение.

1 — стрелка; 2 — неравномерная шкала; 3 — платино-иридиевая нить; 4 — вспомогательная нить; 5 — пружина; 6 — успокаивающий магнит; 7 — алюминиевая пластинка, в которой возникают тормозящие токи.

Измерительные системы снабжаются приспособлением (успокоителем), устанавливающим стрелку без качаний на определенном делении шкалы. Для этого на оси подвижной системы крепится пластинка, которая перемещается в воздушной камере. Магнитоэлектрический прибор не нуждается в таком успокоительном устройстве, так как его катушка намотана на алюминиевой рамке, в которой при ее вращении в магнитном поле магнита возникают тормозящие вихревые токи. Успокоение с помощью вихревых токов применяется и в других приборах, так как оно не увеличивает механического трения измерительной системы.

Условные обозначения на шкалах. Кроме условного обозначения системы измерительного прибора, на его шкале приводится группа условных обозначений, указывающих на измеряемую прибором электрическую величину (*V* — вольтметр, *A* — амперметр, *mA* — миллиамперметр, *μA* — микроамперметр, *W* — ваттметр), на род измеряемого тока (— постоянный ток, ∼ переменный ток, ≂ постоянный и переменный ток), на нормальное положение прибора (→ горизонтальное, ↑ вертикальное, ∠60° наклонное под указанным углом) и на класс точности (цифра в кружке).

Электроизмерительные приборы выпускаются классов 0,1, 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2,5, 4 (эти числа выражают наибольшую допустимую основную погрешность в любой точке шкалы в процентах от наибольшего показания шкалы). Так, прибор класса 2,5 со шкалой на 100 *в* может дать погрешность ±2,5 *в* при измерении любого напряжения в пределах шкалы. При этом измеряемое напряжение, если оно мало, например, 10 *в*, будет определено с точностью ±25%. Во избежание больших погрешностей рекомендуется все измерения проводить в пределах последних двух третей шкалы, для чего надо правильно выбирать рабочие шкалы измерительных приборов.

Кроме основной погрешности, определяемой классом электроизмерительного прибора, может иметь место еще так называемая дополнительная погрешность, обусловленная отличием условий, в которых производится измерение, например, температуры, от «нормальных».

Заметная погрешность может быть также внесена из-за неправильного отсчета показаний (при снятии отсчета глаз должен располагаться на перпендикуляре к плоскости шкалы, проходящем через стрелку) или из-за неправильной установки стрелки на нуль.

Для большинства технических измерений вполне достаточны приборы классов 1—2,5—4, в связи с чем такие приборы носят название технических. Прецизионные приборы классов 0,1—0,2—0,5 дороги и в радиоремонтной практике могут применяться в основном для проверки и градуировки технических приборов.

7-2. Схемы включения электроизмерительных приборов

Схема амперметра. Амперметром называется прибор для измерения тока. Понятно, что для этого он должен включаться в разрыв цепи измеряемого тока, т. е. вводиться в цепь последовательно.

При измерении тока следует иметь в виду, что на всяком введенном в цепь амперметре происходит некоторое падение напряжения. В некоторых случаях (например, в цепях накала) это падение напряжения не дает возможности точно измерить ток. Поэтому при выборе прибора для схемы амперметра надо следить за тем, чтобы произведение измеряемого тока на сопротивление рамки не превышало 100—200 *мв*.

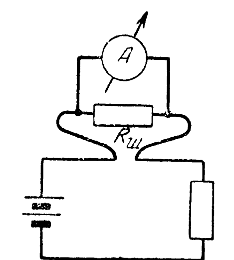


Рис. 7-5. Включение амперметра с шунтом.

Если необходимо измерять токи больше, чем те, на которые рассчитан прибор, то он должен шунтироваться соответствующим сопротивлением, с тем чтобы принять на себя только часть измеряемого тока (рис. 7-5). Расчет сопротивления шунта производится по формуле

$$R_ш = \frac{r}{n-1}, \qquad (7\text{-}1)$$

где $R_ш$ — сопротивление шунта;

r — сопротивление катушки прибора;

n — число, показывающее, во сколько раз надо увеличить пределы измерения.

Шунт не должен нагреваться проходящим по нему током.

Пример. Имеется миллиамперметр со шкалой 5 *ма* = 0,005 *а*. Сопротивление его рамки $r = 100$ *ом*. Этот прибор надо приспособить для измерения тока до 1 *а*, т. е. расширить пределы измерения в

$$\frac{1}{0{,}005} = 200 \text{ раз.}$$

По формуле (7-1) сопротивление шунта

$$R_ш = \frac{100}{200 - 1} \approx 0{,}5 \text{ ом.}$$

Подгонка шунта. Обычно не удается так точно рассчитать и изготовить шунт, чтобы сразу же получить необходимую пропорциональность между новой и прежней шкалами. Поэтому после расчета шунта его подгоняют к прибору. Для этого составляют цепь низкого напряжения (1—6 *в*), в которую последовательно с подгоняемым шунтом включают достаточно точный другой амперметр (образцовый) с такими же или несколько большими пределами измерения, чем налаживаемый, и реостат для регулирования тока (рис. 7-6).

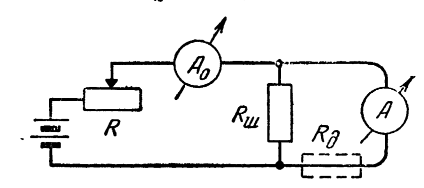


Рис. 7-6. Схема для подгонки шунта. A_0 — образцовый амперметр; A — прибор, к которому подбирается шунт $R_ш$; R — регулировочное сопротивление (реостат); $R_д$ — добавочное сопротивление.

Сначала в цепь вводится все сопротивление реостата, к шунту присоединяется переделываемый прибор и включается напряжение. Затем, плавно уменьшая сопротивление реостата, увеличивают ток в цепи до тех пор, пока образцовый прибор не покажет значение тока, на которое переделывается прибор. Если стрелка налаживаемого прибора уходит за шкалу при меньшем токе, то изготовленный шунт надо несколько укоротить. Если же стрелка не доходит до конца шкалы на несколько делений, то шунт можно слегка сточить надфилем, причем это надо делать не в одном месте, а по возможности по всей длине шунта.

Наращивать шунты не следует. Поэтому, если шунт изготовляется из длинного куска провода, диаметр которого не удобно уменьшать, то надо его изготовить несколько больше расчетной длины и затем подгонять только укорачиванием. Короткий шунт большого сечения нужно заготовлять с сечением несколько больше расчетного и затем стачивать его.

При всяком укорачивании или стачивании шунта надо выключать напряжение, так как случайно оставленный в цепи без шунта прибор может сразу же сгореть. При каждом включении напряжения надо восстановить реостатом требуемый ток по образцовому амперметру.

Применяется и другой способ подгонки шкалы амперметров, состоящий в том, что вместо подгонки шунта подгоняют небольшое дополнительное сопротивление, через которое прибор присоединяется к шунту (на рис. 7-6 это сопротивление показано штриховой линией). Шунт должен иметь сопротивление на 10—20% больше расчетного, а добавочное сопротивление (порядка 0,2 сопротивления рамки прибора) подбирается опытным путем при подгонке шкалы. Такой способ подготовки шкалы амперметра имеет тот недостаток, что падение напряжения на амперметре с добавочным сопротивлением получается несколько большим, чем при его отсутствии, поэтому амперметры, предназначенные для измерения в цепях низкого напряжения, снабжать добавочными сопротивлениями невыгодно.

Шунт нужно включать непосредственно в цепь тока, а прибор — параллельно ему, как это показано на рис. 7-5, а не наоборот, чтобы в случае ненадежного контакта шунта с прибором последний не сгорел.

Универсальный шунт. Для получения возможности измерять различные токи прибегают к устройству сменных шунтов (каждый из которых дает свои пределы измерений) или к одному универсальному шунту. Схема последнего представлена на рис. 7-7. Расчет универсального шунта производится по формулам:

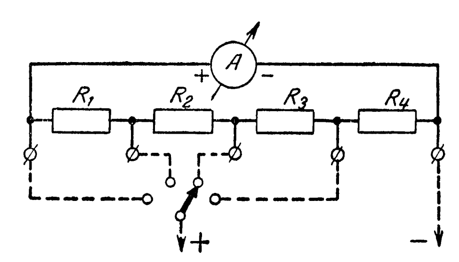


Рис. 7-7. Прибор с универсальным шунтом.

$$R_0 = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \frac{r}{n_1 - 1}; \quad (7\text{-}2)$$

$$R_1 = R_0 - \frac{r + R_0}{n_2}; \quad (7\text{-}3)$$

$$R_2 = R_0 - R_1 - \frac{r + R_0}{n_3}; \quad (7\text{-}4)$$

$$R_3 = R_0 - R_1 - R_2 - \frac{r + R_0}{n_4}; \quad (7\text{-}5)$$

$$R_4 = R_0 - R_1 - R_2 - R_3. \quad (7\text{-}6)$$

Здесь R_1, R_2, R_3 и R_4 — сопротивления частей шунта согласно схеме на рис. 7-7, r — сопротивление рамки прибора и n_1, n_2, n_3 и n_4 — соответственно коэффициенты расширения пределов измерения на 1-м, 2-м, 3-м и 4-м зажимах по отношению к току, потребляемому прибором.

Начинать подгонку такого шунта надо с наименьшей шкалы, т. е. с сопротивления R_1. После подгонки следующей шкалы (сопротивления R_2) может возникнуть необходимость вновь вернуться к сопротивлению R_1 и т. д.

Пример. Прибор с сопротивлением рамки $r = 100$ *ом* дает отклонение стрелки на всю шкалу при токе 1 *ма*. Рассчитать универсальный шунт для пределов измерения 3, 15, 60 и 300 *ма*.

$$n_1 = \frac{3}{1} = 3; \quad R_0 = \frac{100}{3 - 1} = 50 \text{ ом};$$

$$n_2 = \frac{15}{1} = 15; \quad R_1 = 50 - \frac{100 + 50}{15} = 40 \text{ ом};$$

$$n_3 = \frac{60}{1} = 60; \quad R_2 = 50 - 40 - \frac{50 + 100}{60} = 7{,}5 \text{ ом};$$

$$n_4 = \frac{300}{1} = 300; \quad R_3 = 50 - 40 - 7{,}5 - \frac{50 + 100}{300} = 2 \text{ ом};$$

$$R_4 = 50 - 40 - 7{,}5 - 2 = 0{,}5 \text{ ом}.$$

Замечание. При расчете универсального шунта все вычисления надо производить, по крайней мере, с точностью до 4-го знака, так как пользование округленными числами приводит к большой погрешности при определении сопротивления R_4.

Схема вольтметра. Поскольку измерение напряжения состоит в определении разности потенциалов на каком-либо участке цепи или между двумя полюсами источника тока, то понятно, что предназначенный для этой цели вольтметр должен присоединяться параллельно этому участку цепи или источнику тока.

Если вольтметр недостаточно чувствителен и потребляет значительный ток, то им производить измерения в высокоомных цепях нельзя, так как присоединение его к таким цепям нарушает их нормальный режим; поэтому при выборе прибора для схемы вольтметра надо исходить из величины потребляемого им тока. Если для измерения в цепях накала можно применять вольтметры, потребляющие ток в несколько десятков миллиампер, то для анодных цепей допустимы вольтметры, потребляющие ток лишь до 1 *ма*, для цепей экранирующих сеток до 0,2—0,5 *ма*, а для измерений в цепях управляющих сеток обычные вольтметры оказываются вообще мало пригодными.

Для уменьшения влияния вольтметра на исследуемую высокоомную цепь измерения можно производить на больших шкалах, используя в качестве рабочего участка шкалы лишь начало ее, хотя в этом случае и уменьшается точность измерения и отсчета.

Часто чувствительность вольтметра характеризуют сопротивлением на 1 *в*, т. е. величиной, обратной потребляемому прибором току. Так, например, прибор, у которого полное отклонение стрелки получается при токе 5 *ма* (0,005 *а*), обладает чувствительностью в 200 *ом* на вольт, так как $\frac{1}{0,005} = 200$. Для измерений в радиоаппаратуре наиболее подходящими являются вольтметры, имеющие более 2000—3000 *ом/в*.

Расчет добавочных сопротивлений. Большинство приборов для использования их в качестве вольтметров требует включения добавочных сопротивлений. Если ток, вызывающий полное отклонение стрелки прибора, равен I, а сопротивление самого прибора r, то величина добавочного сопротивления для шкалы с максимальным напряжением U определяется по формуле

$$R_д = \frac{U}{I} - r. \qquad (7\text{-}7а)$$

Если требуется расширить пределы измерения вольтметра, уже имеющего добавочное сопротивление, то при полном его сопротивлении (между зажимами), равном R, дополнительное добавочное сопротивление находится по формуле

$$R_д = R\,(n - 1), \qquad (7\text{-}7б)$$

где n — коэффициент расширения шкалы.

Пример. Вольтметр на напряжение 6 *в* обладает сопротивлением 500 *ом*. Для измерения им напряжения до 300 *в* необходимо дополнительное добавочное сопротивление $R_д = 500\,(50-1) = 24\,500$ *ом*, поскольку $n = \frac{300}{6} = 50$. Чтобы у этого же вольтметра получить шкалу на 3 *в* ($n = \frac{3}{6} = 0,5$), необходимо $R_д = 500\,(0,5 - 1) = -250$ *ом*, т. е. надо уменьшить имеющееся в вольтметре добавочное сопротивление на 250 *ом*.

Вольтметры, приспосабливаемые для измерений в нескольких пределах, собирают по схеме на рис. 7-8, так что добавочные сопротивления меньших шкал остаются включенными и при измерениях на следующих шкалах; тогда для получения шкалы на более высокое напряжение достаточно изготовить лишь дополнительное добавочное сопротивление. При этом первое добавочное сопротивление R_1 рассчитывается по формуле (7-7, а), а каждое последующее — по формуле (7-7, б), в которую в качестве R подставляется полное сопротивление вольтметра на предыдущей шкале, а n вычисляется по отношению к той же предыдущей шкале.

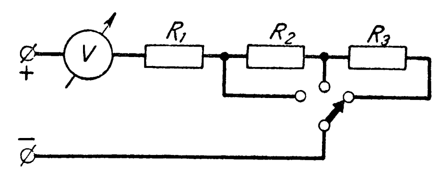


Рис. 7-8. Многошкальный вольтметр.

Пример. Прибор обладает сопротивлением $r = 300$ *ом* и для полного отклонения стрелки нужен ток $I = 0,5$ *ма* $= 0,0005$ *а*. Рассчитать добавочные сопротивления для работы прибора в качестве вольтметра на пределы 6, 30 и 150 *в*.

$$R_1 = \frac{6}{0,0005} - 300 = 11\,700 \text{ ом}$$

Для шкалы на 30 *в* получаем

$$n = \frac{30}{6} = 5,$$

$$R = r + R_1 = 300 + 11\,700 = 12\,000 \text{ ом},$$

следовательно, дополнительное добавочное сопротивление

$$R_2 = 12\,000\,(5 - 1) = 48\,000 \text{ ом}.$$

Для шкалы на 150 *в* получаем

$$n = \frac{150}{30} = 5,$$

$$R = r + R_1 + R_2 = 300 + 11\,700 + 48\,000 = 60\,000 \text{ ом}$$

следовательно,

$$R_3 = 60\,000\,(5 - 1) = 240\,000 \text{ ом}.$$

При выборе добавочных сопротивлений следует отдавать предпочтение манганиновым проволочным сопротивлениям (из соображений стабильности их значений), а также проверять пригодность их по допустимой нагрузке током или мощностью (см. стр. 33).

Подгонка добавочных сопротивлений. Добавочные сопротивления, как и шунты, приходится подгонять практически, для чего составляется схема по рис. 7-9. Не слишком большие проволочные добавочные сопротивления (до 10—20 *ком*) целесообразно изготовлять несколько больше расчетных значений, с тем, чтобы в процессе подгонки их приходилось только сматывать. Большие добавочные сопротивления, как проволочные, так и непроволочные, лучше составлять из двух: одно на 5% меньше расчетной величины, а последовательно ему включить другое небольшое сопротивление, подбором которого и осуществлять точную установку шкалы. Сначала подгоняется сопротивление первой шкалы (R_1), отрегулировав ее переходят к подгонке следующей шкалы (сопротивлением R_2) и т. д.

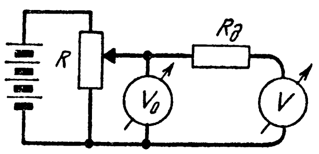


Рис. 7-9. Схема для подгонки добавочного сопротивления.

V_0 — образцовый вольтметр; V — прибор, к которому подбирается добавочное сопротивление $R_д$.

Схемы переменного тока. Системы, работающие от переменного тока без дополнительных приспособлений (тепловая, электромагнитная), включаются для измерений переменных токов и напряжений по таким же схемам, как приборы постоянного тока. Что же касается приборов магнитоэлектрической системы, то переменный ток они способны измерять лишь в сочетании со специальными выпрямителями; при этом линейность их шкалы нарушается (в начале шкала сужается, а в конце расширяется), и в зависимости от схемы выпрямляющего приспособления в большей или меньшей мере ухудшается чувствительность прибора, так что в общем случае для получения прежних пределов нужны другие шунты и добавочные сопротивления.

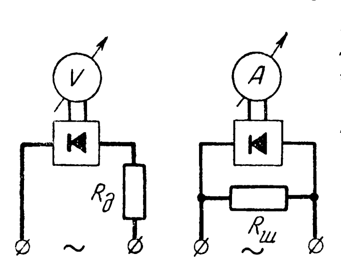
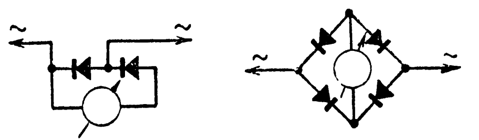


Рис. 7-10. Подключение выпрямляющих устройств к измерительным приборам.

Выпрямляющее приспособление в большинстве случаев присоединяется непосредственно к прибору (рис. 7-10), с тем, чтобы облегчить режим работы выпрямителя. Тогда расчет шунтов ($R_ш$) и добавочных сопротивлений ($R_д$) производится по прежним формулам, но в качестве величин r и I надо подставлять сопротивление и ток, имеющие место в цепи переменного тока еще до выпрямителя при полном отклонении стрелки прибора.

В качестве выпрямляющих устройств чаще всего применяются одно- и двухполупериодные выпрямители


Рис. 7-11. Детекторные приборы.

среднего значения тока, использующие купроксные или германиевые диоды. Две наиболее распространенных схемы, таких приборов приведены на рис. 7-11. Первая из них (левая) меньше всего нарушает равномерность шкалы, но снижает чувствительность прибора примерно в 2,2 раза по сравнению с постоянным током. Вторая схема, использующая 4 выпрямительных элемента, дает малый проигрыш в чувствительности (только в 1,1 раза), но шкала обычно получается более неравномерной.

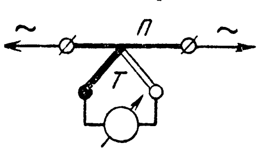


Рис. 7-12. Термоэлемент.

Купроксные выпрямители пригодны в основном для измерения низкочастотных переменных токов. Германиевые точечные диоды позволяют применять детекторные системы электроизмерительных приборов на частотах до десятков мегагерц. Для измерений в цепях токов наивысших частот (сотни мегагерц) применяются специальные кремниевые СВЧ детекторы, обладающие наименьшими проходными емкостями.

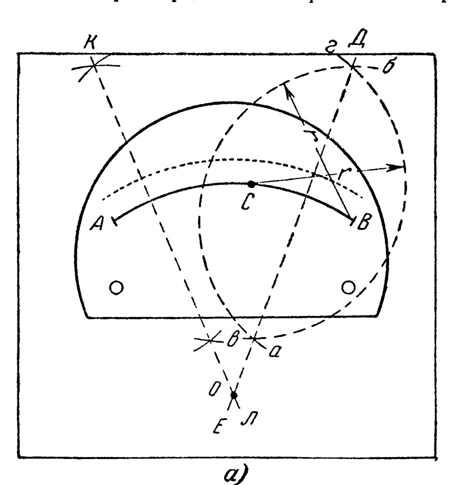
Детекторные приборы допускают включение как добавочных сопротивлений, так и шунтов и годятся таким образом для измерения и напряжений, и токов (рис. 7-10).

Термоэлемент, представляющий совокупность термопары *Т* и подогревателя *П* (рис. 7-12), применяется для измерения, в основном, токов высокой частоты. Измеряемый ток, проходя по тонкой проволоке подогревателя, нагревает ее и место сварки подогревателя с термопарой, состоящей из двух разнородных проволок. Возникающая при этом на концах термоэлемента э. д. с. измеряется магнитоэлектрическим прибором, рамка которого должна обладать малым сопротивлением, так как термо-э. д. с. не превышает 10—20 *мв*.

Термопару обычно составляют манганин — константан или платина — платино-иридий. Ток подогрева (измеряемый ток) для различных термоэлементов колеблется в пределах от 5 *ма* до 10 *а*.

Термоэлементы выпускаются как открытые, так и вакуумные. Последние отличаются меньшей зависимостью показаний от внешней температуры и большей чувствительностью. Термоэлементы пригодны для измерения токов до частот в сотни мегагерц.

Градуировка электроизмерительных приборов и изготовление шкал. При переделке измерительных приборов,



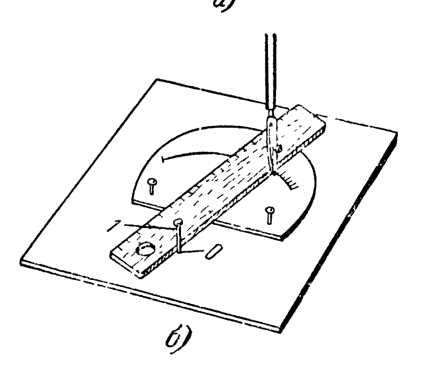


Рис. 7-13. Изготовление шкал.

а — определение центра шкалы ($r \approx ^2/_3$ радиуса шкалы, центр дуги *аб* — в точке *В* шкалы *АВ*; центр дуги *вг* — в произвольной точке *С* на шкале *АВ*; *ДЕ* — прямая, проходящая через точки пересечения дуг *аб* и *вг*; аналогично строится прямая *КЛ*; пересечение прямых *ДЕ* и *КЛ* определяет центр *О* шкалы); *б* — нанесение штрихов тушью (*О* — центр шкалы, *1* — булавка).

особенно при изготовлении схем для измерений в цепях переменного тока, перед радиомастером часто встает задача изготовления новой шкалы, т. е. градуирования прибора. Для этого собирается схема, аналогичная схеме подгонки шунта или добавочного сопротивления по образцовому прибору (рис. 7-6 или 7-9). Образцовый прибор должен обладать такими же или несколько большими пределами измерения и принадлежать к более высокому классу точности, чем градуируемый. Источник тока выбирается в соответствии с величиной и родом измеряемого

тока, реостат или потенциометр должен обеспечивать плавное изменение тока или напряжения в пределах всей шкалы градуируемого прибора

Прежде чем приступить к градуировке, старую шкалу прибора заклеивают листиком плотной белой бумаги, на которой наносят тушью дугу такого же радиуса и длины, как у старой шкалы. Проверив, что при отсутствии тока стрелки обоих приборов (градуируемого и образцового) стоят точно у начала шкал (на нуле), включают ток и, устанавливая реостатом по образцовому прибору те токи или напряжения, для которых желательно иметь деления на шкале градуируемого прибора, аккуратно наносят карандашом точки в местах, против которых останавливается конец стрелки градуируемого прибора.

По окончании этого процесса шкалу с намеченными точками снимают и отыскивают на ней центр окружности частью которой является дуга шкалы (рис. 7-13, *а*). В найденный центр вкалывают булавку, и, прижав к ней бортик линейки, проводят рейсфедером штрихи через намеченные на шкале точки (рис. 7-13, *б*).

Если требуется изготовить несколько одинаковых шкал, прибегают к фотокопии. Для этого первую шкалу выполняют описанным выше способом, только не на плотной бумаге, а на восковке. Этот образец шкалы отпечатывают на особо контрастной фотобумаге, обратив к эмульсии лицевую сторону шкалы (образец и фотобумагу при этом плотно зажимают между двумя стеклами). После проявления этого отпечатка получают негатив шкалы с которого затем вторичным перепечатыванием получают фотокопии шкалы. При вторичном перепечатывании негатив следует прижимать к фотобумаге опять лицевой стороной т. е. эмульсией к эмульсии

7-3. Приборы для измерения сопротивлений, емкостей и индуктивностей

Пробники. Для проверки токопрохождения в электрических цепях отсутствия обрывов в обмотках, замыканий в конденсаторах и т. п. применяются пробники, состоящие из источника тока и индикатора. Три типа наиболее распространенных пробников изображены на рис. 7-14.

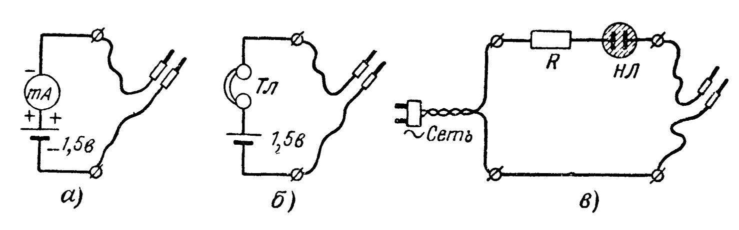


Рис. 7-14. Пробники с миллиамперметром (*а*), телефонами (*б*) и неоновой лампочкой (*в*).

Пробник по схеме на рис. 7-14, *а* составляется из одиночного гальванического элемента и любого миллиамперметра, потерявшего классность. Он позволяет проверять прохождение постоянного тока и ускоряет проверку правильности монтажа радиоаппаратуры, исправности различных радиодеталей. Если в проверяемую им цепь входит конденсатор большой емкости, то даже в отсутствии пути постоянному току в момент присоединения пробника может наблюдаться бросок стрелки прибора, обусловленный прохождением тока заряда конденсатора.

Если сопротивление испытываемой цепи велико, то с пробником типа на рис. 7-14, *а* можно не обнаружить токопрохождения.

Более чувствительным оказывается пробник с головными телефонами (рис. 7-14, *б*). В моменты подключения и отключения его в телефонах слышны громкие щелчки, если испытываемая цепь пропускает постоянный ток

При испытании конденсаторов в момент подключения пробника также может появляться громкий щелчок, однако отключение пробника от исправного конденсатора не сопровождается щелчком.

Пробник с неоновой лампочкой (рис. 7-14, *в*) также обладает высокой чувствительностью: лампочка загорается при сопротивлении цепи до 1 *Мом* и выше. Питание пробника с неоновой лампочкой обычно осуществляют от сети переменного тока. Во избежание повреждения лампочки при испытании низкоомных цепей последовательно включается ограничивающее ток сопротивление R на 5—20 *ком*. При питании пробника переменным током неоновая лампочка зажигается и при наличии в испытываемой цепи конденсаторов если их емкость превышает 10 000—50 000 *пф*.

Метод вольтметра-амперметра. Простейший способ измерения электрического сопротивления состоит в расчете

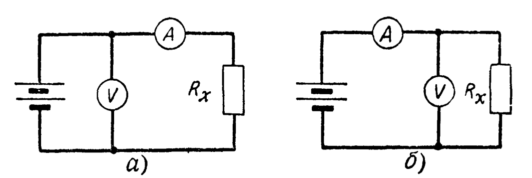


Рис. 7-15. Две схемы включения приборов при измерении сопротивления R_x методом вольтметра-амперметра.

его величины с помощью закона Ома по измеренным значениям тока и напряжения (рис. 7-15):

$$R_x = \frac{U}{I}. \quad (7\text{-}8)$$

Напряжение источника питания при этом надо выбирать так, чтобы измеряемое сопротивление не было перегружено недопустимо большим для него током.

Для повышения точности выбранные вольтметр и амперметр (миллиамперметр, микроамперметр) должны обеспечивать измерение напряжения и тока в пределах последних двух третей своих шкал.

Кроме того следует помнить, что при измерении по схеме на рис. 7-15, *а* вольтметр измеряет напряжение не только на неизвестном сопротивлении, но и на амперметре. В схеме же на рис. 7-15, *б* амперметр измеряет ток, проходящий не только через измеряемое сопротивление, но и ток, потребляемый вольтметром. Для уменьшения погрешностей, связанных с взаимным влиянием вольтметра и амперметра, схему на рис. 7-15, *а* следует применять при измерении высокоомных сопротивлений, а схему на рис. 7-15, *б* — для измерения низкоомных сопротивлений.

Омметры. Принцип действия омметров основан на методе вольтметра-амперметра. Однако в омметрах применяется только один электроизмерительный прибор, большей частью микроамперметр (рис. 7-16), шкала которого градуируется непосредственно в значениях измеряемого сопротивления. Реостат R позволяет при замкнутых накоротко зажимах *аб* установить в цепи такой ток, чтобы стрелка прибора отклонилась до конца шкалы, где у омметра ставится нуль. При присоединении же к зажимам *аб* измеряемого сопротивления R_x установленный первоначально ток уменьшается и стрелка прибора отходит от конца шкалы. Так как отклонение стрелки зави-

сит от величины R_x, то шкалу прибора можно отградуировать непосредственно в омах.

Как это следует из самого принципа измерения, градуировка такого омметра будет справедлива лишь при неизменном фиксированном напряжении питания. По мере разряда батарейки, несмотря на восстановление нуля с помощью реостата R, измерения происходят с погрешностью, достигающей 20—30%.

Рис. 7-16. Принцип построения омметра.

Для изменения пределов измерения омметра при переходе от одной шкалы к другой изменяют либо напряжение источника тока, либо чувствительность прибора (сменой шунтов).

Особого внимания заслуживает декадный омметр, у которого градуируется и наносится только одна шкала, а в соответствии с положением переключателя показания прибора умножаются на 10, 100, 1000 и т. д. Одна из схем декадного омметра с прибором на 0,1 *ма* (сопротивление рамки 1200 *ом*) изображена на рис. 7-17. Источниками питания этого омметра служат один сухой элемент типа ФБС и одна батарейка типа КБС.

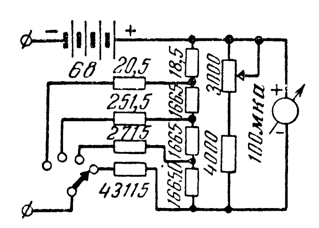


Рис. 7-17. Декадный омметр с пределами измерений 1 *ом* — 1 *Мом*.

Для измерения сопротивлений все чаще начинают применяться ламповые омметры, представляющие сочетание схемы обычного омметра с ламповым вольтметром (см. ниже), используемым в качестве измерительного прибора. Для этого к схеме лампового вольтметра постоянного тока добавляется переключатель с набором образцовых сопротивлений (рис. 7-18). Питание цепи омметра осуществляется от анодной цепи лампового вольтметра. При этом поступающее на вход лампового вольтметра напряжение определяется величиной измеряемого сопротивления, так что шкалу прибора удается градуировать непосредственно в единицах электрического сопротивления.

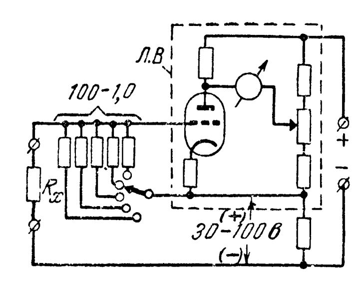


Рис. 7-18. Ламповый омметр, полученный из лампового вольтметра.

Мегомметр. Для измерения особенно больших сопротивлений (десятки — сотни мегом) — сопротивлений изоляции проводов, обмоток, конденсаторов применяется прибор, называемый мегомметром. В принципе он ничем не отличается от простейшего омметра, изображенного на рис. 7-16, но в качестве источника тока в нем применяется небольшой ручной генератор высокого напряжения (от 500 до 1500 *в*), что позволяет испытывать сопротивление изоляции под высоким напряжением.

Универсальный тестер (авометр) представляет собой комбинированный прибор, который благодаря особой схемы коммутации может применяться как многошкальный амперметр (миллиамперметр), вольтметр и омметр с широкими пределами измерения.

Обычно такого рода универсальные приборы обладают не очень высокой точностью, но вполне пригодны для большинства измерений, надобность в которых возникает при ремонте и монтаже радиоаппаратуры. Универсальность в сочетании с малыми габаритами делают авометры очень удобными приборами, широко применяемыми в радиоремонтной практике.

На рис. 7-19 приведена принципиальная схема промышленного тестера типа ТТ-1, обеспечивающего измерение постоянных токов на шкалах 0,2, 1,5, 20, 100 и 500 *ма*, постоянных и переменных напряжений на шкалах 10, 50, 200 и 1000 *в* и сопротивлений в пределах от 1 *ом* до 2 *Мом* на трех шкалах. Выбор рода измерений (постоянный ток, переменный ток, омметр) осуществляется переключателем *П*, а выбор шкалы — включением одного из щупов в соответствующее гнездо (другой щуп постоянно включен в гнездо с обозначением *Общ*).

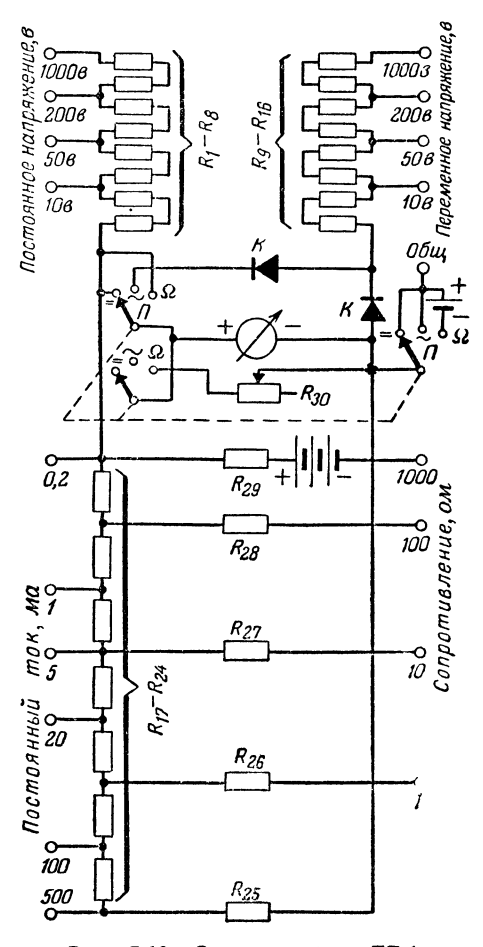


Рис. 7-19. Схема прибора ТТ-1.

R_1—R_8 — добавочное сопротивление для измерения постоянных напряжений; R_9—R_{10} — тоже для переменных напряжений, R_{17}—R_{24} — универсальный шунт; R_{26}—R_{30} — сопротивления схемы омметра.

Измерительные мосты представляют собой наиболее точные приборы для измерения сопротивлений, индуктивностей, емкостей, коэффициентов трансформации, усилений и для многих других видов измерений. Принцип действия моста был описан на стр. 31.

Мосты для измерения сопротивлений питаются постоянным током и индикатором в них служат магнитоэлектрические приборы с нулем посередине шкалы. Мосты емкостей и индуктивностей питаются переменным током, который обычно создается зуммером или специальным низкочастотным генератором, входящим в комплект моста. Индикатором в них служит головной телефон, позволяющий отметить момент баланса моста по минимуму слышимости, или электронно-оптический индикатор, описанный на стр. 103.

Упрощенные схемы мостов R, C и L представлены на рис. 7-20. При измерении емкости и особенно индук-

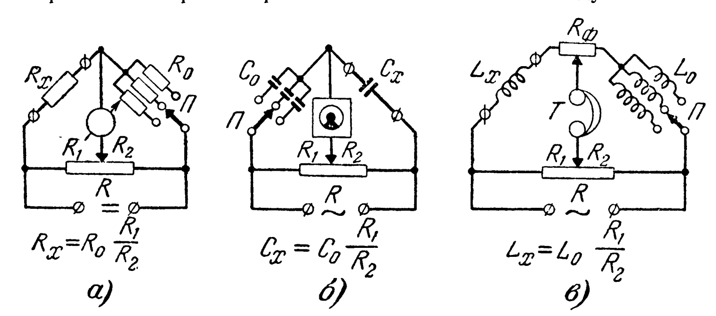


Рис. 7-20. Измерительные мосты.

а — сопротивлений; *б* — емкостей; *в* — индуктивностей.

тивности для получения острого минимума необходимо сбалансировать не только емкости и индуктивности, но и их активные сопротивления. Для этого в схему моста L вводится потенциометр $R_ф$.

Сначала минимума звука в телефоне T добиваются установкой переключателя диапазона измерений $П$, а затем установкой плавного регулятора баланса R. После этого переходят к регулированию потенциометром $R_ф$ фазы и, продолжая одновременно оперировать ручками $R_ф$ и R около найденных минимальных положений, добиваются по возможности полного прекращения слышимости в телефонах. Величины измеряемых индуктивности, емкости и сопротивления находят по указанным на рисунке формулам. Величина $\frac{R_1}{R_2}$ читается на шкале ручки R моста.

Мост сопротивлений также может питаться переменным током (низкой частоты). Тогда в качестве индикатора лучше вместо прибора применять телефон.

В более совершенных измерительных мостах C и L регуляторы фазы $R_ф$ снабжены шкалами, по которым одновременно можно судить и о добротности испытываемой катушки или tg δ конденсатора. Указания по этому поводу даются в инструкциях, прилагаемых к каждому мосту.

Измерение емкости конденсаторов, индуктивности контурных катушек и обмоток трансформаторов может быть осуществлено методом вольтметра-амперметра (стр. 167) и с помощью специальных радиоизмерительных приборов, в частности — куметра (см. ниже).

7-4. Ламповые вольтметры

Ламповый вольтметр представляет собой сочетание электроизмерительного прибора (обычно магнитоэлектрической системы высокой чувствительности) с электронной лампой, приспособленное для измерения напряжений. При надлежащей конструкции входных цепей, сводящей к минимуму их емкость, ламповые вольтметры пригодны и для измерений высокочастотных напряжений в высокоомных сеточных цепях.

Ламповый вольтметр постоянного тока. Простейшая схема лампового вольтметра постоянного тока, где трехэлектродная лампа служит для усиления измеряемого тока, представлена на рис. 7-21. Переход с одной шкалы на другую осуществляется обычно с помощью высокоомного ($R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 15 \div 100$ *Мом*) делителя напряжения на входе. Это — прекрасный прибор для измерения постоянных напряжений на электродах ламп.

Ламповый вольтметр переменного тока должен прежде всего обеспечить выпрямление измеряемого тока, что обычно выполняется отдельной лампой, большей частью диодом (рис. 7-22). Сам вольтметр с усилителем может быть собран по прежней схеме. Вынесение выпрямительной лампы из прибора в виде щупа позволяет свести емкость входных цепей прибора к минимуму и расширить диапазон частот измеряемых напряжений до 100—200 *Мгц*.

Недостаток схемы на рис. 7-21 состоит в том, что через прибор все время проходит ток покоя, определяемый выбором рабочей точки лампы, и нуль вольтметра не совпадает с нулем шкалы прибора. Поэтому обычно предпочитают прибор включать по схеме на рис. 7-23, где в качестве анодной нагрузки лампы включается сопротивление R_a,

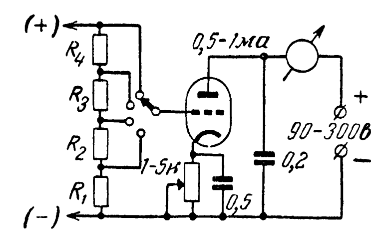


Рис. 7-21. Ламповый вольтметр постоянного тока.

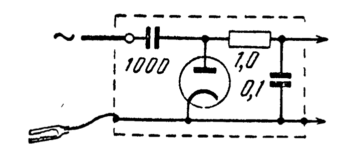


Рис. 7-22. Приставка к вольтметру постоянного тока для измерения напряжения переменного тока.

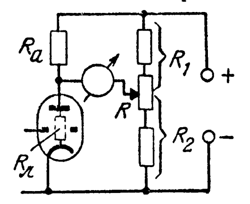


Рис. 7-23. Компенсация тока покоя вольтметра.

а прибор присоединяют одним полюсом к аноду лампы, а другим к делителю R_1R_2, делящему напряжение в том же отношении, что и цепь $R_aR_л$ при отсутствии напряжения на сетке лампы. Тогда образуется схема моста, который при отсутствии измеряемого напряжения сбалансирован и через прибор ток покоя не идет (точное балансирование моста, т. е. установка стрелки прибора на нуль, осуществляется потенциометром R). Когда же к сетке лампы прикладывается измеряемое напряжение, ее сопротивление $R_л$ уменьшается и баланс моста нарушается, в результате чего стрелка прибора отклоняется.

Шкала лампового вольтметра получается неравномерной, но ее можно выравнить, применяя в его усилительном каскаде глубокую отрицательную обратную связь, которая одновременно увеличивает и входное сопротивление вольтметра. Пример схемы многошкального лампового вольтметра (для измерения и постоянного, и переменного напряжений), основанного на изменении степени отрицательной обратной связи, представлен на рис. 7-24.

Ламповый милливольтметр. Для измерения особенно малых напряжений переменного тока предназначены лам-

повые милливольтметры. Эти приборы аналогичны ламповым вольтметрам переменного тока, но детектору в них предшествует широкополосный усилитель. Ради уменьшения входной емкости прибора у ламповых милливольтметров, работающих в широкой полосе частот (10—20 *Мгц*), предварительный усилитель начинают катодным повторителем, который выносят из кожуха прибора в щуп (рис. 7-25).

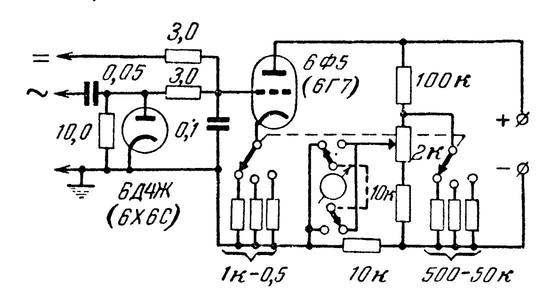


Рис. 7-24. Переключение шкал вольтметра изменением отрицательной обратной связи.

7-5. Измерительные генераторы

При налаживании, ремонте и испытании радиоаппаратуры часто бывают необходимы источники сигналов различных частот. При многих измерениях надо точно знать частоту, амплитуду и форму сигнала, подаваемого

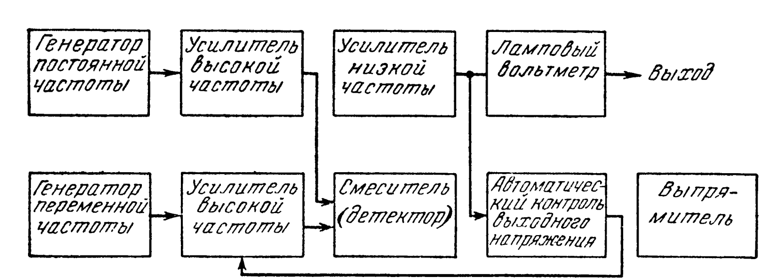


Рис. 7-26. Блок-схема генератора низкой частоты на биениях типа ЗГ-2.

на испытываемый аппарат, и в широких пределах варьировать эти характеристики испытательного сигнала. Для создания таких сигналов служат специальные измерительные генераторы.

Звуковые генераторы служат для испытания и налаживания усилителей низкой частоты, громкоговорителей, звукозаписывающих устройств и др.

Такие генераторы должны создавать чисто синусоидальные колебания (без гармоник), частоту которых можно изменять в пределах от 20 *гц* до 15—20 *кгц*, обладать высокой устойчивостью как частоты, так и амплитуды выходного сигнала, допускать изменение амплитуды в широких пределах (от единиц милливольт до нескольких десятков вольт).

Иногда к звуковым генераторам предъявляются также требования высокой выходной мощности (несколько ватт) и низкого выходного сопротивления (например, для испытания громкоговорителей).

Генераторы, отвечающие таким требованиям, выполняются в двух вариантах.

Первый вариант состоит в использовании метода биений двух высокочастотных сигналов. Блок-схема подобного генератора изображена на рис. 7-26. Один из высокочастотных генераторов имеет фиксированную частоту, частоту же другого генератора можно плавно изменять на 15—20 *кгц* от совпадения с частотой первого генератора.

В результате сложения обоих колебаний на входе детектора образуется синусоидальное напряжение частоты равной разности частот слагаемых колебаний. Это низкочастотное напряжение затем усиливается не вносящим заметных искажений усилителем и через регулятор подается на зажимы выхода. Для контроля за уровнем выходного сигнала служит вольтметр переменного тока (обычно ламповый), который применительно к неизменному

Рис. 7-25. Блок-схема лампового милливольтметра.

сопротивлению нагрузки может быть отградуирован, в децибелах.

Звуковые генераторы другого типа осуществляются по схемам *RC* генераторов. Введение в цепь обратной связи лампового усилителя определенных комбинаций *RC* цепочек, срезающих либо высшие, либо низшие частоты позволяет превратить усилитель в генератор, частота колебаний которого определяется параметрами этих *RC* цепочек.

Схема простого *RC* генератора такого типа приведена на рис. 7-27. Кроме цепи частотнозависимой положительной обратной связи (R_1—C_1—R_2—C_2), в генераторе применена вторая цепь отрицательной обратной связи (R_3—R_4—C_3—*Л*), в которую введена лампочка накаливания *Л* (8—15 *вт*×220 *в*), изменяющая свое сопротивление при изменении амплитуды колебаний. Этим достигается повышение стабильности амплитуды генерируемых колебаний и уменьшение нелинейных искажений. Наилучший режим генерирования достигается регулировкой переменного сопротивления R_4.

Генераторы *RC* типа, даже промышленных типов, обычно уступают генераторам на биениях в отношении коэффициента гармоник выходного сигнала. Тем не менее для целей ремонта радиовещательной аппаратуры они вполне пригодны и находят самое широкое применение

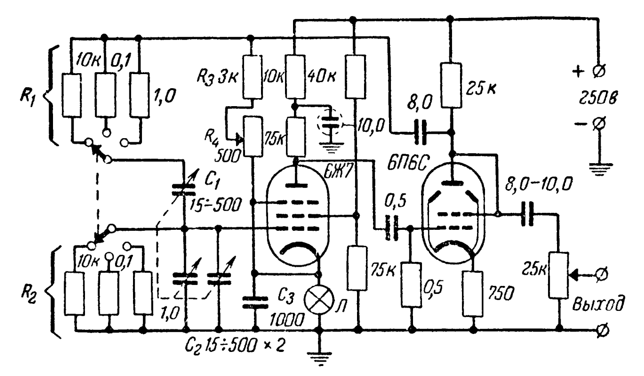


Рис. 7-27. Принципиальная схема генератора синусоидальных колебаний низкой частоты на *RC*.

Генератор стандартных сигналов АМ представляет собой устройство, вырабатывающее высокочастотные колебания (сигналы), частоту, амплитуду и глубину модуляции которых можно не только в широких пределах изменять, но и с большой точностью непрерывно контролировать. Генераторы стандартных сигналов отличаются высоким постоянством генерируемого сигнала, для чего применяются специальные меры, стабилизирующие работу генератора.

Типичным прибором подобного рода является генератор стандартных сигналов ГСС-6, блок-схема которого изображена на рис. 7-28. Задающий генератор *1* генерирует высокочастотные сигналы, частоту которых в соответствии с настройкой колебательного контура можно плавно изменять в пределах от 100 *кгц* до 26 *Мгц* (3000—11,5 *м*). Частота сигнала устанавливается переключателем диапазонов, сменяющим контурные катушки, и конденсатором переменной емкости, ручка которого снабжена верньером и визиром, передвигающимся по точно отградуированной шкале частот.

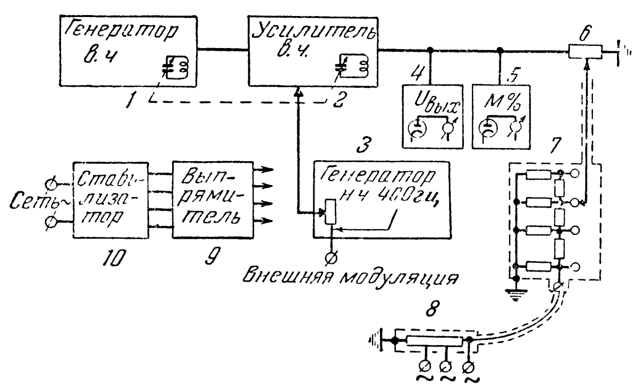


Рис. 7-28. Блок-схема генератора стандартных сигналов ГСС-6.

От задающего генератора высокочастотный сигнал поступает на буферный каскад усиления *2*, который выполняет несколько функций. Во-первых, он устраняет обратное влияние выходных цепей на задающий генератор и этим содействует повышению стабильности работы последнего. Во-вторых, так как буферный усилитель работает по схеме резонансного усиления (в анодной цепи его включен колебательный контур, настраивающийся одновременно с контуром, задающего генератора), то это способствует отфильтровыванию высших гармоник из созданного задающим генератором сигнала. В-третьих, в буферном усилителе осуществляется модуляция высокочастотного сигнала колебаниями низкой частоты (400 *гц*), получаемыми от местного генератора *3* или от внешнего источника, присоединенного к соответствующим зажимам. Кроме того, регулированием усиления, даваемого буферным каскадом, сигнал на выходе его $U_{вых}$ приводят к стандартному уровню в 1 *в*, который контролируют с помощью диодного вольтметра *4*. Глубина модуляции М% выходного сигнала измеряется с помощью специальной схемы *5*, носящей название модулометра. Она изменяется потенциометром, регулирующим поступающее на буферный каскад напряжение низкой частоты.

Для изменения амплитуды стандартного сигнала в пределах от десятых долей микровольт до 1 *в* на выходе генератора устроены два аттенюатора *6* и *7* и делитель *8*. Плавный аттенюатор *6* выполнен в виде весьма точного низкоомного потенциометра, позволяющего плавно изменять амплитуду сигнала в пределах отношения 1 : 10 и снабженного соответствующей шкалой. Ступенчатый аттенюатор *7* представляет собой делитель напряжения с переключателем, уменьшающим амплитуду сигнала в 10, 100, 1000 или 10 000 раз. Делитель *8*, включенный на конце выходного кабеля, позволяет получать сигнал, ослабленный еще в 10 или 100 раз. Все выходные цепи (аттенюаторы, сопротивления, монтажные провода, выходной кабель) полностью экранированы и имеют конструкцию, которая во-первых, предотвращает возможность просачивания сигналов большой амплитуды по ложным путям и, во-вторых, обеспечивает высокое постоянство работы регуляторов амплитуды во всех диапазонах рабочих частот.

Питание генератора стандартных сигналов ГСС-6 осуществляется от сети переменного тока напряжением 120 или 220 *в* через выпрямитель *9*. Благодаря применению стабилизатора *10* обеспечена достаточная стабильность всех питающих напряжений в генераторе при колебаниях напряжения сети в пределах 100—140 *в* (при установке переключателя на 120 *в*) или 160—230 *в* (при установке переключателя на 220 *в*).

Сигнал-генератор АМ. Как видно из приведенного выше краткого описания современной конструкции генератора стандартных сигналов, это — довольно сложный и дорогой испытательный прибор. Генератор стандартных сигналов незаменим при определении качественных показателей радиоприемников. Но при налаживании и ремонте последних можно обойтись более простыми устройствами например сигнал-генераторами, у которых отсутствуют буферный каскад и приборы для измерения уровня сигнала и глубины модуляции.

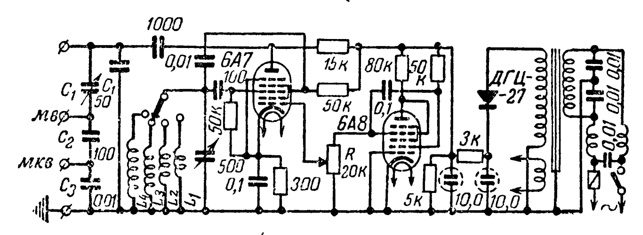


Рис. 7-29. Принципиальная схема простого сигнал-генератора.

Сигнал-генераторы устроены проще, чем генераторы стандартных сигналов. Для них в качестве аттенюаторов часто применяют обычные потенциометры и переключатели и меньше внимания уделяют вопросам экранирования и стабильности питания. Полная принципиальная схема простого сигнал-генератора приведена на рис. 7-29. Оба генератора (высокочастотный и низкочастотный) собраны по схеме, отличающейся относительно высоким постоянством амплитуды генерируемых сигналов, простотой в сборке и налаживании. Потенциометр *R* регулирует глубину модуляции, а конденсатор переменной емкости C_1 вместе с постоянными конденсаторами C_2 и C_3 образует емкостный делитель напряжения.

УКВ ЧМ генераторы. Для настройки УКВ блоков радиовещательных приемников применяются генераторы, работающие в соответствующем диапазоне частот и снабженные кроме того устройством для модуляции генерируемых ими колебаний по частоте. Такие УКВ ЧМ генераторы делятся также на два класса: генераторы стандартных сигналов, к которым относятся промышленные генераторы типов ГСС-7, ГСС-17, и упрощенные сигнал-генераторы, например СГ-1.

Принципы устройства этих генераторов аналогичны рассмотренным выше.

Отличительной особенностью УКВ-ЧМ генераторов является то, что частотная модуляция в них достигается непосредственным воздействием модулятора на колебательный контур УКВ генератора (рис. 7-30).

При оценке напряжения выходного сигнала УКВ генераторов необходимо соблюдать условия согласованной нагрузки, состоящие в том, что присоединенная к выходу генератора цепь на рабочей частоте должна обладать чисто активным сопротивлением, равным выходному сопротивлению генератора (обычно 75 *ом*). Для этого в частности подачу сигнала от генератора на вход приемника надо осуществлять с помощью коаксиального кабеля, имеющего соответствующее волновое сопротивление.

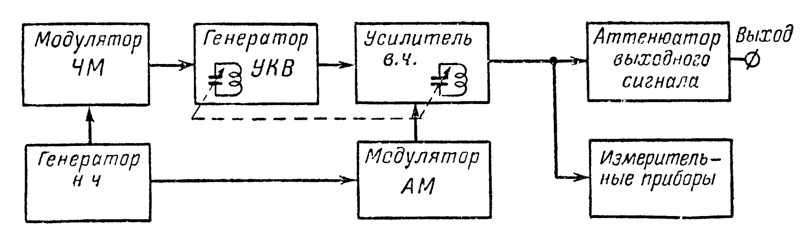


Рис. 7-30. Блок-схема УКВ ЧМ генератора стандартных сигналов.

В противном случае в соединительной линии могут образоваться стоячие волны и напряжение, измеряемое вольтметром генератора не будет равняться напряжению на входе приемника.

7-6. Электронный осциллограф

Электронный осциллограф служит для наблюдения с помощью электронно-лучевой трубки графиков переменного напряжения. Это весьма универсальный прибор, позволяющий производить самые разнообразные измерения в электрических цепях и исследования работы любых радиотехнических устройств. Варьируя способы включения осциллографа и добавляя к нему некоторые приставки,

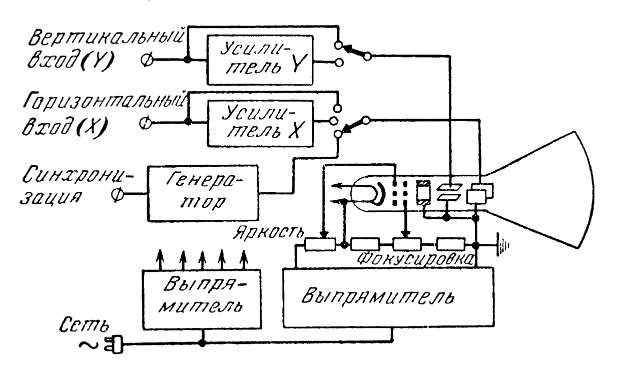


Рис. 7-31. Блок-схема осциллографа.

можно с его помощью измерять напряжения и токи, определять нелинейные искажения, наличие генерации, получать графики кривых избирательности колебательных контуров, наблюдать семейства статических характеристик ламп и транзисторов и проводить многие другие измерения.

В рамках настоящей книги нет возможности описать различные методы применения осциллографа, с которыми следует знакомиться по специальной литературе. Здесь мы вкратце опишем лишь принцип действия электронного осциллографа.

Осциллограф (блок-схема его дана на рис. 7-31) содержит электронно-лучевую трубку, высоковольтный выпрямитель для подачи напряжений на ее электроды и усилитель с регулированием усиления измеряемых напряжений.

Исследуемое напряжение прикладывается к отклоняющим пластинам трубки, расположенным по вертикальной оси *Y*, и электронный луч под влиянием электрического поля, созданного этим напряжением, колеблется ему в такт и прочерчивает на люминесцирующем экране вертикальную прямую линию.

Но чтобы получить на экране график измеряемого напряжения, т. е. по экрану трубки развернуть получившуюся линию, надо луч одновременно отклонять равномерно слева направо. Это выполняет генератор пилообразного напряжения (генератор развертки), подающий вырабатываемое им напряжение на пластины трубки, расположенные по горизонтальной оси. За время нарастания зубца пилообразного напряжения луч равномерно отклоняется слева направо, в момент крутого спада напряжения он быстро возвращается назад и каждый следующий зуб напряжения развертки повторяет этот процесс. Если частота развертки (частота пилообразного напряжения) совпадает с частотой исследуемого напряжения или в целое число раз меньше последней, то на экране трубки появляется неподвижное изображение одного или нескольких периодов исследуемого напряжения. Таким образом для измерений на различных частотах генератор развертки должен допускать плавное изменение частоты его колебаний в значительных пределах (обычно осциллографы снабжаются генераторами с диапазоном частот от 5—20 *гц* до 100—300 *кгц*) и системой синхронизации, обеспечивающей поддержание частоты развертки в целое число раз меньше частоты развертываемого сигнала.

Для исследования зависимости одного переменного напряжения не от времени, а от другого напряжения, в осциллографах предусматривается переключение пластин горизонтального отклонения от внутреннего генератора развертки к внешним зажимам (вход *X*), причем подаваемое сюда напряжение может при необходимости также усиливаться (усилителем *X*).

7-7. Измеритель добротности (куметр)

Измеритель добротности или куметр является универсальным радиоизмерительным прибором, позволяющим проводить испытания катушек индуктивности и конденсаторов на высоких частотах.

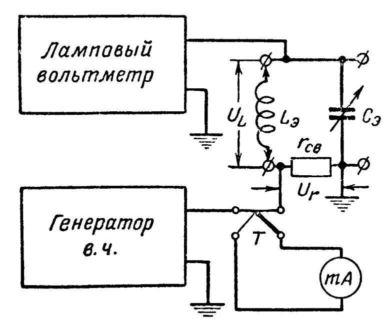


Рис. 7-32. Блок-схема куметра.

Куметр (рис. 7-32) состоит из перестраиваемого в широком диапазоне частот градуированного генератора высокой частоты, колебательного контура со сменными образцовыми катушками $L_э$ и градуированным конденсатором переменной емкости $C_э$, термоэлектрического миллиамперметра *T—mA* и лампового вольтметра.

Колебательный контур $L_эC_э$ при помощи очень малого (сотые доли ома) безреактивного сопротивления $r_{св}$ связан с генератором высокой частоты. Термомиллиамперметр измеряет ток высокой частоты, проходящий через сопро-

тивление связи, а значит и напряжение U_r, которое вводится в колебательный контур $L_эC_э$. Ламповый вольтметр измеряет напряжение U_L, возникающее на зажимах колебательного контура и таким образом позволяет, во-первых, определять настройку контура $L_эC_э$ в резонанс на частоту генератора и, во-вторых, определять добротность колебательного контура, ибо

$$Q = \frac{U_L}{U_r}.$$

Включая вместо эталонной катушки $L_э$ другую катушку индуктивности с неизвестными параметрами и восстанавливая резонанс, можно по показаниям лампового вольтметра определять ее добротность а по емкости конденсатора $C_э$ обеспечивающей резонанс, — индуктивность.

Подключая параллельно конденсатору $C_э$ другой исследуемый конденсатор и отмечая, на сколько пикофарад приходится уменьшать емкость эталонного конденсатора $C_э$ для сохранения резонанса, мы этим самым определяем емкость исследуемого конденсатора. По уменьшению добротности колебательного контура после введения в него исследуемого конденсатора, можно определить и присущий этому конденсатору $\operatorname{tg} \delta$.

Подробные указания о порядке определения всех этих величин содержатся в инструкциях к куметрам.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ УСТАНОВОЧНЫХ РАБОТ

8-1. Установка радиоприемника

Элементами установки приемника являются монтаж антенны и заземляющего устройства, а также, если требуется, проводка линии для присоединения второго громкоговорителя в другом помещении, причем не исключена возможность устройства дистанционного включения приемника.

Применение различных типов приемных антенн. Большинство современных радиовещательных приемников снабжается внутренними антеннами: ферритовой для приема на средних и длинных волнах и петлевой для приема в диапазоне УКВ. Эти антенны обладают направленным действием, чувствительны в основном к магнитной составляющей электромагнитного поля и обеспечивают свободный от помех прием местных станций.

Для ненаправленных антенн, т. е. антенн одинаково воспринимающих сигналы, приходящие с различных направлений, отношение э. д. с. полезного сигнала к э. д. с. помех остается таким же, каково отношение напряженностей полей, создаваемых принимаемой радиостанцией и различными источниками помех.

Если же антенна обладает направленным действием, то при соответствующей ориентировке ее в пространстве удается повышать отношение сигнал/помеха.

Мерой восприимчивости антенн является особый параметр, называемый *действующей высотой* $h_А$. Его величина показывает какая э. д. с. $e_А$ возникает в антенне при той или иной напряженности поля E:

$$e_А = h_А E. \qquad (8\text{-}1)$$

Так, если напряженность поля, создаваемого радиостанцией, сигналы которой принимаются, в месте расположения приемной антенны составляет 500 *мкв/м*, а $h_А = 5$ *м*, то в антенне наводится э. д. с.

$$e_А = 5 \cdot 500 = 2500 \text{ мкв или } 2{,}5 \text{ мв}.$$

Именно эта э. д. с. возбуждает колебания во входных цепях приемника и определяет силу приема.

Действующая высота антенны зависит от ее геометрических размеров и конструкции, а также от длины принимаемой волны. К сожалению у встраиваемых в приемники ферритовых и петлевых антенн действующая высота весьма мала (всего лишь несколько сантиметров), а потому уверенный прием дальних радиостанций с помощью таких антенн возможен в редких случаях.

Поскольку УКВ распространяются в основном в пределах прямой видимости и прием в этом диапазоне возможен лишь на весьма ограниченных расстояниях (несколько десятков километров), то несмотря на малую действующую высоту встроенной петлевой антенны, ее почти всегда достаточно для хорошей работы приемника в диапазоне УКВ. При этом однако не безразлично расположение приемника в комнате, ибо встроенная петлевая антенна неподвижно закрепляется на задней стенке приемника и благоприятная ориентация ее может быть осуществлена только при соответствующей ориентации самого приемника.

Следует также иметь в виду, что находящиеся в непосредственной близости от приемника различные предметы, стены и электропроводка могут существенно влиять на работу петлевой антенны.

Поэтому устанавливая приемник, особенно при значительном удалении от местной УКВ радиостанции, надо убедиться в том, что выбранное расположение его в комнате обеспечивает благоприятные условия приема в диапазоне УКВ.

Что же касается прочих диапазонов волн, то для хорошей работы приемника всегда следует иметь и внешнюю антенну.

Чувствительность современных приемников достаточно высока для того, чтобы уже при небольшой внешней антенне (несколько метров провода) можно было принимать много радиостанций в диапазонах КВ, СВ и ДВ. Поэтому часто ограничиваются применением комнатных или суррогатных антенн. Но реальная чувствительность, определяемая при оговоренном отношении сигнал/помеха, с такими антеннами получается в городских условиях невысокой даже у приемников высшего класса, потому что комнатные и суррогатные антенны находятся в непосредственной близости от электропроводки и большого числа различных электроприборов, создающих сильные помехи радиоприему.

Наружные антенны не только обладают большей действующей высотой, но и самое главное — при правильном исполнении позволяют значительно повысить отношение сигнал/помеха, причем улучшается качество приема всех радиостанций, прием которых был возможен и на упрощенные антенны, и появляется возможность приема более удаленных станций, слабое поле которых перекрывалось полем местных индустриальных помех.

Для получения такого эффекта при сооружении наружной антенны надо принять серьезные меры по защите ее от действия индустриальных помех (особенно на ее снижение), так как иначе большие затраты на ее сооружение останутся неоправданными.

Наружные антенны, обладающие большой действующей высотой, очень полезны также для приемников низших классов, чувствительность которых недостаточна для уверенного приема дальних станций при работе с малыми антеннами.

Чрезвычайно широкое распространение радиовещательных приемников часто не позволяет каждый из них

снабжать индивидуальной наружной антенной, так как для размещения такого числа антенн на крышах городских зданий просто недостаточно места. Нельзя также не считаться с порчей архитектурного облика зданий, крыши которых усеяны десятками радиовещательных и телевизионных антенн, и с катастрофическим состоянием кровли, вызываемым монтажем на ней большого числа антенн.

Поэтому в последнее время все большее распространение начинают находить коллективные и центральные домовые телевизионные и радиовещательные антенны, обеспечивающие одновременное подключение к ним большого числа приемников.

При выборе типа антенны можно руководствоваться следующими практическими положениями:

1. Применение комнатных и суррогатных антенн для приемников прямого усиления и супергетеродинов 4-го класса практически исключает возможность удовлетворительного приема дальних станций и для этих типов приемников желательна установка наружной антенны.

2. Супергетеродины 2-го и 1-го класса на комнатную антенну принимают почти так же, как и на обычную наружную, но в районах с сильными индустриальными помехами прием на наружную антенну может быть значительно лучше.

3. Наружную антенну имеет смысл устанавливать лишь тогда, когда она может быть расположена значительно выше приемника. Наружные антенны, находящиеся на одном уровне с приемником, например балконные, действуют не лучше, чем комнатные, натянутые на той же высоте. Исключение из этого правила составляют лишь железобетонные здания, внутри которых комнатные антенны дают исключительно плохой прием.

4. Суррогатные антенны зачастую дают лучший прием, чем простая комнатная, так как превосходят ее по протяженности, а часто и по высоте. В городских условиях суррогатные антенны обычно воспринимают помех больше, чем какие-либо другие.

5. В районе с особенно высоким уровнем помех целесообразно устройство высоких наружных антенн с экранированным снижением.

Устройство комнатных и суррогатных антенн. В качестве комнатной антенны обычно применяется кусок изолированного провода длиной от 1 до 20 *м*, свободно брошенный (при малой длине), укрепленный одним концом под потолком, натянутый под потолком вдоль одной или двух стен или замкнутый в виток, который натягивается под потолком вдоль всех стен, с припаянным к нему над местом установки приемника снижением. Действующая высота комнатной антенны возрастает при расположении провода параллельно проводам элктропроводки вблизи от них, но отношение сигнал/помеха при этом не улучшается, поэтому такую меру можно рекомендовать, если чувствительность приемника низка. Для супергетеродинных приемников 1—2-го классов, напротив, несколько лучшие результаты можно получить, максимально ослабляя связь комнатной антенны с электропроводкой.

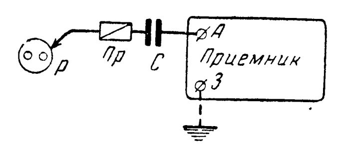


Рис. 8-1. Суррогатная антенна (электросеть).

Р — штепсельная розетка, *Пр* — плавкий предохранитель (0,25 *а*); *С* — защитный конденсатор (400 *пф*); *А* — гнездо антенны; *З* — гнездо заземляющего провода.

В качестве суррогатной антенны чаще всего применяют провода электросети. Это невозможно, если приемник построен по бестрансформаторной схеме питания или, как это бывает в некоторых приемниках, если провода электросети соединены через конденсаторы с шасси приемника.

При использовании электросети в качестве суррогатной антенны один из ее проводов подключается к антенному гнезду через конденсатор и предохранитель (рис. 8-1).

Устройство наружных антенн. Наружные антенны состоят из мачт, оттяжек, самой антенны, снижения, ввода, заземления, грозопереключателя и устройства для защиты от перенапряжений.

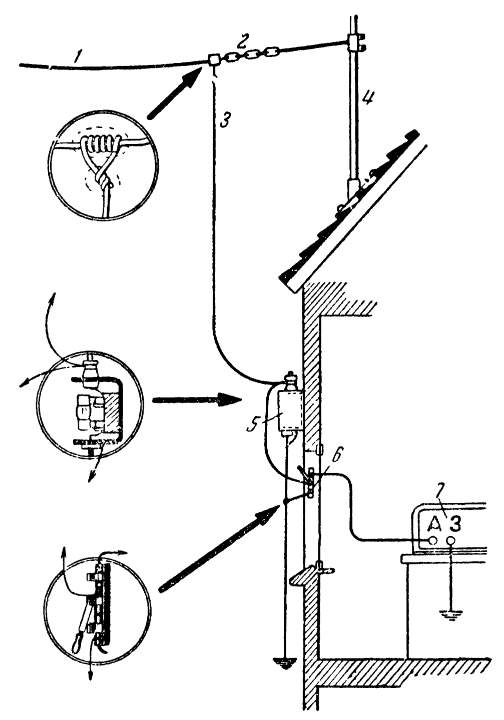


Рис. 8-2. Наружная Г-образная антенна.

1 — горизонтальная часть антенны; *2* — изоляторы; *3* — снижение, *4* — мачта; *5* — газоразрядник; *6* — грозопереключатель; *7* — радиоприемник.

Грозопереключатель и предохранитель от перенапряжений, желательно располагать снаружи дома, по возможности ближе к вводу, чтобы ими можно было легко пользоваться. В качестве предохранителя от перенапряжений применяются искровой разрядник с воздушным промежутком в 0,1 *мм*, вакуумный разрядник или газоразрядная трубка. Их нельзя монтировать вблизи легко воспламеняющихся материалов. Для заземления антенны рекомендуется применять отдельное заземление, не соединенное с приемником.

Детали устройства наружной антенны показаны на рис. 8-2. Наивыгоднейшая длина горизонтальной части наружных и внутренних антенн составляет при одном луче 15—20 *м*, а при двух лучах — вдвое меньше. Двухлучевые антенны хуже однолучевых, поэтому их следует устраивать только в тех случаях, когда антенна не может быть сделана длиннее 12—15 *м*.

При выборе того или иного соотношения между длиной горизонтальной $l_г$ и вертикальной $l_в$ частей антенны следует помнить, что действующая высота антенны определяется в основном протяженностью вертикальной части и составляет в отсутствии горизонтальной части

$$h_А \approx 0,6 l_в, \tag{8-2}$$

а при наличии ее может достигать значения

$$h_А = l_в. \tag{8-2а}$$

В то же время собственная длина волны антенны λ_0, от которой зависит согласование антенны с входной цепью приемника, определяется суммарной длиной обеих частей:

$$\lambda_0 \approx 4{,}5\,(l_г + l_в). \qquad (8\text{-}3)$$

Рис. 8-3. Экранированная наружная антенна.

1 — штыревая антенна; 2 — коробка с грозоразрядником; 3 — опорный изолятор; 4 — опорная мачта; 5 — экранированный грозопереключатель (выключатель на 250 *в* и 6 *а* в металлической коробке); 6 — экранированный шланг; 7 — высокочастотный кабель (*а* — внешняя изоляция; *б* — металлическая оплетка; *в* — высокочастотная изоляция; *г* — медная жила); 8 — оттяжки; 9 — кронштейн.

Рис. 8-4. Общая антенна для нескольких радиоприемников.

1 — штыревая антенна с метелкой на конце; 2 — опорный изолятор; 3 — понижающий трансформатор и грозоразрядник; 4 — опорная мачта; 5 — экранированный кабель; 6 — экранированное штепсельное соединение (*а* — подрозетник, *б* — розетка с гнездом); 7 — экранированный шланг; 8 — повышающий трансформатор; 9 — приемник.

Оптимальное значение λ_0 для всеволновых радиоприемников лежит в пределах 100—200 *м*. Если собственная длина волны антенны оказывается слишком большой ($\lambda_0 \geqslant 200$ *м*), то ее искусственно укорачивают включением последовательно со снижением конденсатора емкостью 100—500 *пф* (подбирается опытным путем). Слишком короткая антенна ($\lambda_0 \ll 100$ *м*) может также плохо влиять на работу приемника, в особенности при приеме длинных волн; в этом случае вводят в снижение катушку индуктивности, величину которой определяют тоже из опыта. Эти мероприятия оказываются особо полезными при неблагоприятных условиях приема.

Штыревая антенна с экранированным снижением предназначается для повышения отношения сигнала к помехе. Сооружение ее рекомендуется там, где в непосредственной близости к месту приема находятся источники сильных электрических помех, например в больших городах, имеющих множество электроустановок, электрический транспорт и т. п.

Наиболее подходящим видом такой антенны является высоко поднятая над крышей штыревая антенна (рис. 8-3), которая может состоять из раздвижных металлических трубок (телескопическая антенна) и для увеличения собственной длины волны снабжаться на конце метелочкой или звездочкой.

Снижение, начиная от основания штыря, прокладывается высокочастотным экранированным кабелем, который подводится к грозовому переключателю, устанавливаемому снаружи дома у места ввода в помещение. Грозопереключатель желательно тоже экранировать, поместив его в заземленную металлическую коробку. Ввод осуществляется также экранированным шлангом и оканчивается у приемника гибким экранированным шнуром.

Во избежание чрезмерно большого затухания, вносимого емкостью экранированного снижения, надо выбирать для него высокочастотные кабели, обладающие наименьшей емкостью (не более 30—50 *пф/м*) или вначале и конце снижения включать трансформаторы, преобразующие сопротивление антенны (рис. 8-4). Возле антенны включается понижающий трансформатор, а возле приемника — повышающий. Конструкция, электрическая схема и моточные данные антенных трансформаторов приведены на рис. 8-5. Подобные антенны позволяют одновременно обслуживать до пяти приемников и этим в определенной мере решают проблему упорядочения антенного хозяйства в больших городах.

В целях упрощения конструкции штыревой антенны вместо трубчатого штыря или металлического стержня может применяться кусок провода, вертикально подвешенного к высокой деревянной мачте.

Коллективная антенна (рис. 8-6) может сооружаться по типу описанной выше штыревой, но снижение от нее направляется непосредственно на чердак к широкополосному усилителю высокой частоты, который работает непрерывно и подает усиленные сигналы по экранированным кабелям ко всем радиоприемникам в доме. В зависимости от свойств усилителя число приемников, обслуживаемых такой антенной, может доходить до 20—50.

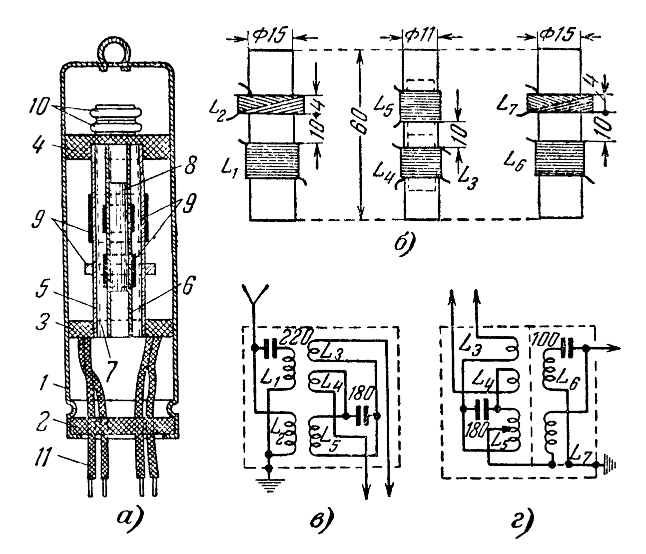


Рис. 8-5. Антенные трансформаторы.

а — конструкция трансформаторов; *1* — алюминиевый корпус; *2* — донышко (резина); *3* и *4* — центрирующие кольца (гетинакс, текстолит); *5* — внешняя гильза; *6* — внутренняя гильза; *7* — электростатический экран (ряд параллельных проводов ПШО 0,2, наклеенных на бумажную трубку вплотную друг к другу; с одной стороны все они спаяны, а с другой изолированы друг от друга; экран соединен с корпусом и заземлен; устраивается только в повышающем трансформаторе); *8* — сердечники из карбонильного железа диаметром 9,3 и длиной 19 *мм*; *9* — катушки; *10* — конденсаторы; *11* — выводы. *б* — катушки трансформаторов; L_1 — 10 витков ПШО 0,13; L_2 — 200 витков ПШО 0,13; L_3 — 10 витков ПЭШО 0,13; L_4 — 10 витков ПЭШО 0,13; L_5 — 100 витков ПЭШО 0,13; L_6 — 16 витков ПЭШО 0,13; L_7 — 150 витков ПЭШО 0,13). *в* — схема понижающего трансформатора. *г* — схема повышающего трансформатора.

Так как при общей антенне трудно пользоваться грозовым переключателем, то в месте ввода антенны на чердак на крыше устанавливается лишь предохранитель от перенапряжений. Заземляющий провод сечением не менее 3 $мм^2$ подводится к земле или к линии громоотвода.

Усилитель может быть снабжен фильтрами, снижающими уровень сигнала местных станций, и устройством автоматического резервирования ламп. Он полностью экранируется заземленным металлическим кожухом. Питание усилителя осуществляется от городской электросети; при вводе ее в кожух усилителя ставится высокочастотный фильтр, предотвращающий проникновение помех в антенную сеть. На выходе усилителя включаются трансформаторы, согласующие его выходное сопротивление с волновым сопротивлением распределительной сети.

Распределительная сеть выполняется в виде петли (см. рис. 8-6) из экранированного высокочастотного кабеля с волновым сопротивлением 60—120 *ом*. На расстоянии не менее 1 *м* за последней штепсельной розеткой, предназначенной для включения приемника, линия нагружается сопротивлением, равным волновому сопротивлению сети. Штепсельные розетки содержат помимо гнезд два сопротивления, образующих делитель, цель которого — предотвратить взаимное влияние включенных в антенну приемников. Эти сопротивления берут порядка 2000 *ом* последовательно и 1000 *ом* параллельно гнездам.

Наиболее совершенные антенные устройства коллективного пользования состоят из нескольких антенн для различных диапазонов волн, в том числе для УКВ и телевидения (рис. 8-7). Объединение сигналов, поступающих от всех антенн производится после индивидуальных для каждой антенны усилителей ($У_1$ и $У_2$) при помощи специальных согласующих трансформаторов. Проводка осуществляется симметричным экранированным кабелем с двумя внутренними жилками. Для обслуживания наибольшего количества абонентов антенная сеть строится

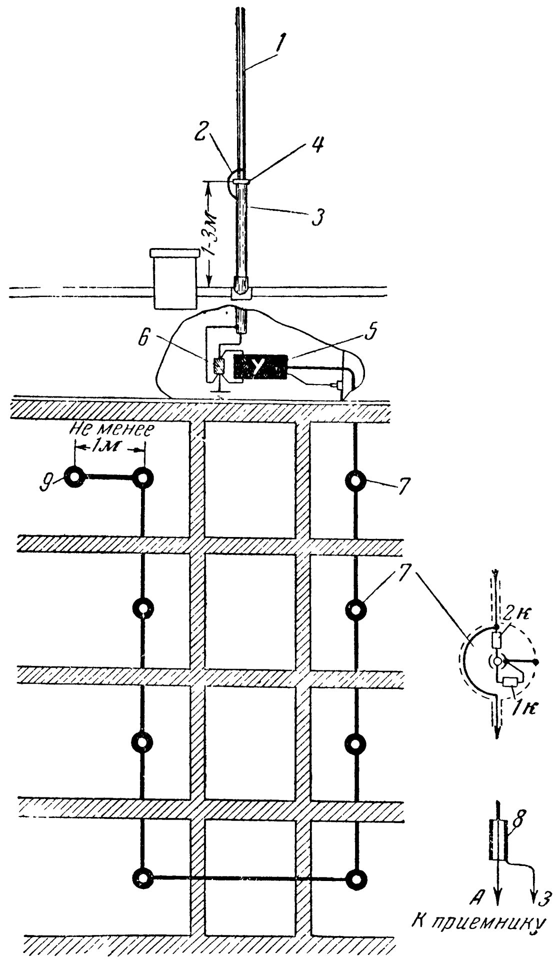


Рис. 8-6. Коллективная антенна.

1 — штыревая антенна; *2* — снижение; *3* — опорная мачта (труба); *4* — опорный изолятор; *5* — широкополосный усилитель; *6* — грозоразрядник; *7* — экранированные розетки с ограничительными сопротивлениями в 1 и 2 *ком*; *8* — штепсельная вилка; *9* — коробка с нагрузочным сопротивлением.

с разветвлениями, причем разветвительные коробки на 2—3 направления включаются каскадно (рис. 8-7),

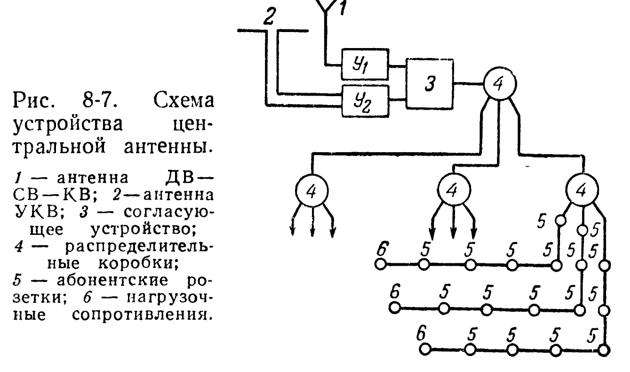


Рис. 8-7. Схема устройства центральной антенны.

1 — антенна ДВ—СВ—КВ; *2* — антенна УКВ; *3* — согласующее устройство; *4* — распределительные коробки; *5* — абонентские розетки; *6* — нагрузочные сопротивления.

а абонентские линии по-прежнему выполняются в виде петель с нагрузочными сопротивлениями на концах.

Абонентский комплект (рис. 8-8) в таких сетях состоит из ограничительных сопротивлений, схемы разделения УКВ сигналов и сигналов ДВ, СВ, КВ и их повышающего трансформатора для каналов ДВ, СВ и КВ.

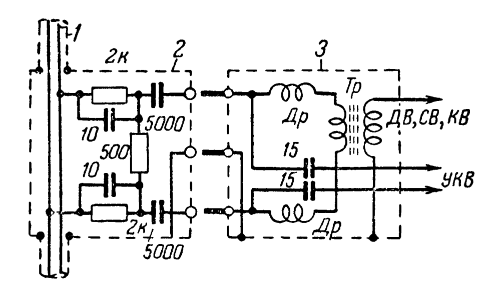


Рис. 8-8. Схема абонентского комплекта центральной домовой антенны.

1 — симметричный двухпроводный кабель с волновым сопротивлением 120 *ом*; *2* — абонентская розетка с ограничительными сопротивлениями; *3* — разделительное устройство с повышающим трансформатором (*Др* — дроссели УКВ).

Основные приемы монтажа антенн на крышах. Сооружение наружных антенн подчинено определенным правилам. Из числа их упомянем следующие: 1) высота мачты в городских условиях не должна превышать 8 *м*; 2) для крепления мачт и оттяжек запрещено использование печных труб, перил и арматуры электрических и телефонных линий; 3) без особого разрешения нельзя также натягивать антенны над улицами и площадями, над надземными и водными путями; 4) не разрешается располагать антенну над воздушными электрическими линиями и линиями связи.

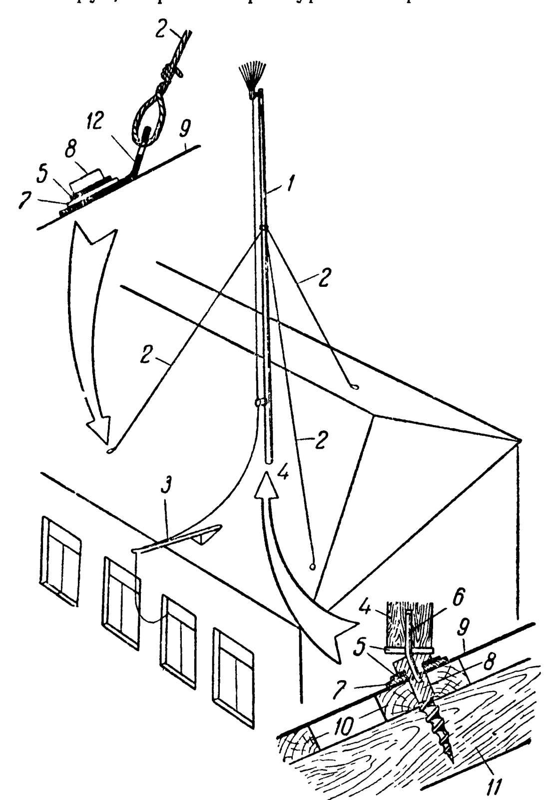


Рис. 8-9. Элементы монтажа антенны на крыше.

1 — опорная мачта; *2* — оттяжки; *3* — кронштейн; *4* — основание опорной мачты; *5* — стальная шайба; *6* — стальной шип; *7* — прокладка из прорезиненной парусины; *8* — стальной глухарь; *9* — кровля; *10* — обрешетка; *11* — стропильная нога; *12* — стальная закрепа.

Установка антенны на крыше здания должна обеспечивать жесткое надежное крепление всех элементов антенного устройства и гарантировать сохранность кровли. Ниже излагаются некоторые способы крепления антенных мачт и оттяжек, удовлетворяющие этим требованиям.

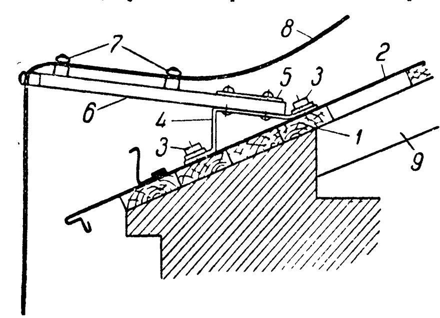


Рис. 8-10. Крепление кронштейна снижения с помощью глухарей.

1 — обрешетка карнизного свеса; *2* — кровля; *3* — глухарь; *4* — кронштейн из полосовой стали; *5* — стальная накладка; *6* — деревянная рейка; *7* — фарфоровые роликовые изоляторы; *8* — провод снижения; *9* — стропильная нога.

Наилучший способ крепления опорных мачт — постановка на шип и закрепление при помощи трех оттяжек с применением глухарей которые пропускаются через кровлю и ввинчиваются в стропильную ногу через брусок обрешетки (рис. 8-9).

Для предотвращения течей глухари ввинчиваются с прокладкой из прорезиненной парусины, предварительно покрытой суриковой замазкой (состав суриковой замазки: 4 весовых части молотого мела, 2 части тертых белил, 2 части олифы и 1 часть тертого сурика). После завинчивания глухаря выдавившейся замазкой пришпаклевывают его головку и шайбы к кровле. После высыхания замазки все части тщательно окрашивают масляной краской под цвет кровли.

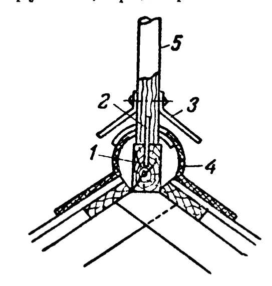


Рис. 8-11. Крепление мачты на коньке крыши.

1 — коньковый брус; *2* — стальной шип, *3* — фартук; *4* — конек из асбоцемента; *5* — опорная мачта.

В качестве шипа для фиксации опоры применяют стальной стержень диаметром 6 *мм*, который запрессовывается в высверливаемое для этой цели отверстие в головке глухаря (рис. 8-9). После установки глухаря под опору выступающий конец шипа отгибается до вертикального положения.

На рис. 8-10 показано крепление кронштейна для снижения. Деревянную рейку *6* надо крепить с уклоном в сторону крыши. Это уменьшит воздействие осадков на провод снижения и его обледенение.

Установка опорных мачт на скатах крыш, покрытых асбестоцементными листами или черепицей затруднена, и мачты в этом случае предпочитают устанавливать на коньковом брусе (рис. 8-11). При этом основание опорной мачты пропускается через отверстие, устраиваемое в коньке, и прикрываемое фартуком из листовой оцинкованной стали, который крепится к мачте. Щели, образую-

щиеся при креплении фартука зашпаклевываются суриковой замазкой.

Оттяжки можно крепить к деревянным стенкам вентиляционных оголовков и слуховых окон, а также к ребрам крыш.

Применение заземления. Отдельное заземление необходимо при наружных антеннах для присоединения к нему грозопереключателя и предохранителя от перенапряжений. Заземляющий провод должен быть сечением не менее 3 *мм*², и его надо надежно припаять к массивному металлическому предмету (оцинкованный лист, бухта стальной ленты или провода), зарытому в землю на глубине грунтовых вод недалеко от места ввода снижения в здание.

Для самих радиоприемников не всегда необходимо заземление; многие достаточно чувствительные супергетеродины работают без заземления вполне удовлетворительно. Это объясняется тем, что масса экранов, проводов и шасси, подлежащих заземлению, достаточно велика и сама выполняет роль заземления. В сетевых приемниках, кроме того, емкость между обмотками силового трансформатора связывает по высокой частоте приемник с электросетью, которая всегда бывает заземлена.

Иногда достаточно бывает устройство «искусственной земли»: включение вместо заземления одного из проводов электрической сети через конденсатор емкостью 0,01—0,02 *мкф* (конечно, при условии, что электросеть не используется в качестве суррогатной антенны для этого же приемника). Обычно в качестве заземления удовлетворительно работают трубы водопровода, если провод заземления надежно соединен с ними (пайкой, хомутиком и т. д.).

Тем не менее с точки зрения помехозащищенности приема заземление играет не менее важную роль, чем антенна. Правда, у большинства приемников заземляющийся конец антенных катушек непосредственно присоединен к шасси приемника и тем самым предопределена связь антенной цепи с питающей приемник электросетью. Но если первичная обмотка силового трансформатора имеет экран или электросеть вводится в приемник через высокочастотный фильтр, то качество и способ заземления могут оказывать сильное влияние на уровень индустриальных помех, воспринимаемых приемником.

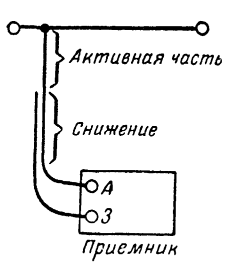


Рис. 8-12. Схема устройства антишумового снижения.

В этих случаях суррогатные заземления, находящиеся в поле действия различных источников помех, крайне нежелательны.

Хорошие результаты дает применение возможно коротких и прямых проводок заземления, выполненных проводом большого сечения, а также, включение в качестве заземления провода, идущего параллельно снижению антенны (рис. 8-12) на малом от него расстоянии (5—10 *см*).

Установка дополнительного громкоговорителя. Многие радиоприемники снабжаются гнездами для присоединения дополнительного громкоговорителя. Прежде чем приступать к установке его, надо ознакомиться со схемой выхода приемника и определить, низкоомный он или высокоомный, и в соответствии с этим решить вопрос о необходимости применения у дополнительного громкоговорителя выходного трансформатора.

Если нужная линия окажется низкоомной, то ее следует выполнять для избежания потери мощности (в особенности при большой ее протяженности) достаточно толстым проводом. Высокоомную линию, даже относительно длинную, можно прокладывать тонким проводом, для чего применяют сдвоенный звонковый провод в полихлорвиниловой изоляции.

Дистанционное включение приемника с места установки дополнительного громкоговорителя может быть осуществлено различными способами, в том числе с использованием для него проводов той же линии, по которой подается напряжение низкой частоты к громкоговорителю. Но поскольку расстояние до приемника обычно невелико, то экономичней проложить отдельную линию. Проще всего вывести контакты имеющегося в приемнике выключателя и параллельно им присоединить второй выключатель, установленный при дополнительном громкоговорителе (рис. 8-13).

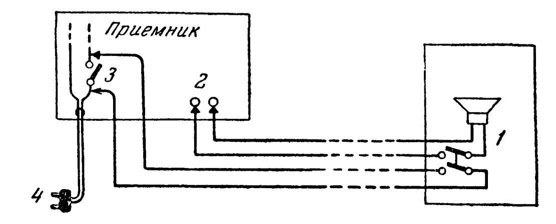


Рис. 8-13. Схема включения дополнительного громкоговорителя с дистанционным включением приемника.

1 — дополнительный громкоговоритель; *2* — гнезда дополнительного громкоговорителя; *3* — выключатель; *4* — к электросети.

8-2. Оборудование усилительных установок

Выбор мощности усилительной установки. Выходная мощность усилительного устройства должна на 15—20% превышать сумму мощностей, необходимых для озвучания подлежащих радиофикации помещений. Мощность для озвучания больших помещений может быть определена с помощью табл. 8-1, где указаны коэффициенты мощности *p* на одного слушателя для разного рода передач и помещений.

Таблица 8-1

Коэффициент мощности на одного слушателя

Озвучаемый объект	Род передачи	*p*, *вт/ед*
Залы с большой реверберацией	Речь Музыка Танцевальная музыка	0,005 0,01 0,02
Залы со средним звукопоглощением	Речь Музыка Танцевальная музыка	0,01 0,015 0,025
Залы с сильным звукопоглощением	Речь Музыка Танцевальная музыка	0,01 0,02 0,03
На открытом воздухе	—	0,025

Необходимая для всего помещения мощность получается как произведение найденного в таблице коэффициента на число слушателей. При выборе коэффициента *p* надо правильно оценить акустические свойства помещения, отнеся его к разряду залов или со значительной реверберацией, или с сильным звукопоглощением. Большой реверберацией (гулкостью) обладают помещения с глад-

кими кирпичными и бетонными стенами. Наоборот, помещения с обтянутыми материей стенами, коврами, обилием мягкой мебели обладают сильным звукопоглощением.

Пример. Определить необходимую мощность громкоговорителей для передачи танцевальной музыки в зале с мраморными стенами при числе посетителей 1000 человек.

По табл. 8-1 для этих условий находим $p = 0{,}025$. Тогда мощность всех громкоговорителей будет равна $0{,}025 \cdot 1000 = 25$ *вт*.

Комплектация усилительной установки. Все оборудование усилительной установки подразделяется на источники программы (микрофон, приемник, граммофонный пульт и т. п.), усилительные устройства, приборы управления и контроля и питающее устройство.

Комплект источников программы составляется в соответствии с необходимыми видами работы проектируемого радиоузла. В состав радиоузлов на различных предприятиях и в клубах обычно входят микрофон, граммофонный проигрыватель, радиоприемник и магнитофон.

Усилители на радиоузлах бывают трех типов: 1) оконечные, 2) предварительные, функции которых в малых узлах может выполнять низкочастотная часть радиоприемника, и 3) микрофонные.

Оконечный усилитель, питающий громкоговоритель, обычно выполняется по двухтактной схеме класса AB_1AB_2 или даже В. Этим повышается экономичность питания радиоузла, что особенно важно при применении аккумуляторного питания. Оконечный усилитель в большинстве случаев монтируется на отдельном шасси, которое, впрочем, часто укрепляется в одном кожухе или на стойке с прочими элементами радиоузла. Ко входу оконечного усилителя присоединяется выход предварительного.

Предварительный усилитель обладает значительным коэффициентом усиления по напряжению и приводит в действие оконечный усилитель. Обычно он содержит три-четыре лампы, из которых предоконечная работает на трансформатор, а остальные — в схеме на сопротивлениях. Ко входу предварительного усилителя подается от источников программ напряжение порядка десятых или сотых долей вольта. При этом звукосниматель граммофонного пульта или пьезоэлектрический микрофон присоединяются ко входу предварительного усилителя непосредственно, а другие микрофоны — через трансформаторы или дополнительные микрофонные усилители. Так как выходное напряжение приемника велико, то выход его ко входу предварительного усилителя надо подавать через понижающий трансформатор или через делитель напряжения на сопротивлениях.

Приборы управления — переключатели источников программы, выключатели громкоговорителей, регуляторы уровня (громкости) и полосы (тембра) и др., а равно и контрольно-измерительные приборы большей частью размещаются на панелях соответствующих блоков усилительной установки. Однако в больших установках наиболее важные органы управления вместе с прибором контроля уровня передачи собираются на отдельной панели управления, устанавливаемой на столе дежурного техника. На этом же столе устанавливаются микрофон, радиоприемник и граммофонный пульт. Выключатели линий, идущих к громкоговорителям, сосредоточиваются на панели выходной коммутации. Если эти линии проходят на открытом воздухе, то необходима установка грозозащитных устройств (плавкий предохранитель и разрядник на каждый провод).

При питании радиоузлов от сети переменного тока питающее устройство состоит из трансформаторов и выпрямителей. В этом случае рациональна установка автотрансформатора для поддержания питающего напряжения нормальной величины. Реже радиоузлы снабжаются бензиновыми или иными двигателями, вращающими непосредственно питающий аппаратуру генератор. Если радиоузел питается от аккумуляторов, то для зарядки резервного комплекта аккумуляторов устанавливаются двигатели внутреннего сгорания и ветродвигатели; тогда в оборудование радиоузла включается разрядно-зарядный щиток.

В качестве иллюстрации к вопросу о комплектации радиоузлов на рис. 8-14 приведены три типовые блок-схемы усилительных установок. Простейшая установка (рис. 8-14, *а*) собирается на базе радиоприемника, к которому добавляют оконечный усилитель необходимой мощности. В такой установке почти всегда возможна передача граммзаписи, так как большинство радиоприемников имеет гнезда для включения звукоснимателя. Для осуществления местных передач лучше всего применить пьезоэлектрический микрофон, который можно включать непосредственно в гнезда звукоснимателя, или угольный микрофон, схема включения которого в приемник показана на рис. 8-14, *а* справа.

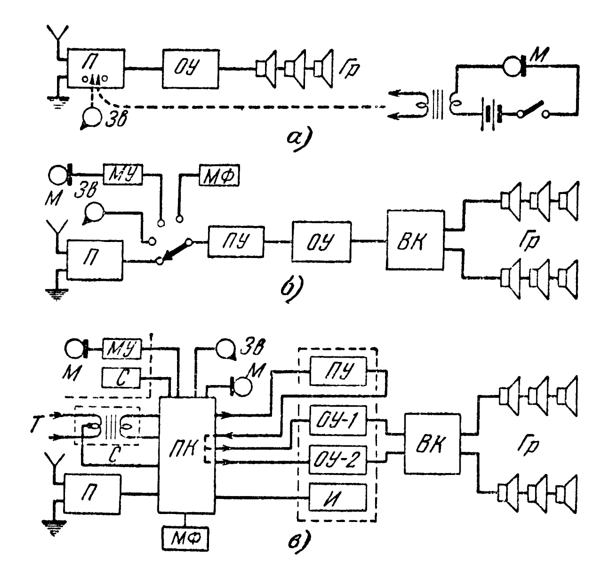


Рис. 8-14. Типовые блок-схемы усилительных установок.

а — простейшая установка с радиовещательным приемником; *б* — радиоузел мощностью 50—100 *вт*; *в* — радиоузел с двумя оконечными усилителями. *П* — приемник; *Зв* — звукосниматель; *ОУ* — оконечный усилитель; *Гр* — громкоговорители; *М* — микрофон; *МУ* — микрофонный усилитель; *ПУ* — предварительный усилитель; *ВК* — щит выходной коммутации и линейной защиты; *С* — сигнализация, *ПК* — пульт управления и контроля; *ОУ-1* — первый оконечный усилитель; *ОУ-2* — второй оконечный усилитель; *И* — источник питания; *Т* — трансляционная линия; *МФ* — магнитофон.

Рис. 8-14, *б* изображает блок-схему обычного радиоузла мощностью 50—100 *вт*, а на рис. 8-14, *в* представлена блок-схема более мощного узла. В ней имеется два оконечных усилителя, которые можно включать по отдельности; это необходимо в тех случаях, когда число обслуживаемых громкоговорителей колеблется.

Микрофоны. Различные типы микрофонов дают на выходе разные электрические напряжения. Высококачественные микрофоны обладают вообще меньшей чувствительностью. В среднем вещательный электродинамический микрофон с повышающим трансформатором развивает 10—20 *мв*, а пьезоэлектрический 20—50 *мв*. Ленточный и конденсаторный микрофоны обычно имеют встроенный в общий с ними кожух микрофонный усилитель, питаемый от батарей, ибо развиваемая ими э. д. с. чрезвычайно мала (менее 1 *мв*). Угольные микрофоны имеют наибольшую отдачу (на концах вторичной обмотки микро-

фонного трансформатора несколько десятых долей вольта), но обладают невысокими акустическими характеристиками и большим уровнем собственных шумов, в связи с чем они пригодны в основном для речевых передач информационного характера.

Наиболее подходящим для малых радиоузлов является электродинамический микрофон. Он имеет сильный постоянный магнит, в поле которого находится прикрепленная к мембране катушка. При колебаниях мембраны в катушке вследствие пересечения ею магнитных силовых линий возбуждается э. д. с. низкой частоты. Эти микрофоны не требуют дополнительных источников питания, они менее чувствительны к механическим воздействиям и сотрясениям и обладают хорошими электроакустическими характеристиками.

При достаточной чувствительности предварительного усилителя (порядка 10 *мв*) электродинамические микрофоны могут присоединяться ко входу его непосредственно без дополнительного усиления, но через повышающий трансформатор с приведенным ко вторичной обмотке сопротивлением в несколько десятков килоом. Если же потребуется установка микрофонного усилителя, то он может состоять из одного каскада на высокочастотном пентоде и его можно монтировать не при микрофоне, а вместе с предварительным усилителем.

Все электродинамические микрофоны низкоомные (сопротивление их катушек не превышает нескольких ом). Поэтому во избежание потерь в линии непосредственно в кожухе микрофона установлен трансформатор, согласующий сопротивление микрофона с волновым сопротивлением линии, т. е. его сопротивление приводится к величине 200 или 600 *ом*, что позволяет пользоваться достаточно длинными линиями. На входе же усилителя может устанавливаться второй повышающий трансформатор.

Громкоговорители. Обслуживание большого помещения одним громкоговорителем большой мощности не всегда является наилучшим решением, часто лучше установить несколько громкоговорителей меньшей мощности, обеспечивающих во всех точках помещения равномерную громкость. В больших заводских цехах очень удобны подвесные громкоговорители, а в комнатах общежитий, гостиных и подобных помещениях — обычные электродинамические громкоговорители на настенных отражательных досках или в ящиках.

Под открытым небом отдают предпочтение установке громкоговорителей с короткими рупорами, но в тех лишь случаях, когда нет вблизи зданий, вызывающих эхо, или естественных звукоотражающих преград. В противном случае лучше пользоваться колоколообразными громкоговорителями, которые не вызывают сильного эхо, вследствие чего большие площади могут обслуживаться большим количеством таких громкоговорителей без взаимных помех. Во избежание действия осадков на самую систему рупоры должны быть наклонены вниз под таким углом, чтобы попадающие в них при косом дожде капли сами вытекали наружу.

Согласование громкоговорителей с оконечным усилителем. Мощность отдельных громкоговорителей в сумме должна быть равна мощности усилителя. Если мощность усилителя несколько больше требуемой, то ее излишек равномерно распределяют между всеми громкоговорителями или в предвидении последующего увеличения их количества применяют нагрузочное сопротивление для поглощения этой резервной мощности.

Расчет трансформаторов и громкоговорителей ведут следующим образом. По формуле $R'_{1э} = \frac{P_{ус}R_{ус}}{P_1}$ находят приведенные к первичной обмотке сопротивления нагрузки $R'_{1э}$ и по ним и сопротивлениям громкоговорителей определяют по формуле (3-53г) коэффициенты трансформации.

Пример. Усилитель мощностью 20 *вт*, рассчитанный на нагрузочное сопротивление 140 *ом*, должен обслуживать четыре громкоговорителя мощностью по 3 *вт* и четыре — мощностью по 1,5 *вт*.

$$R'_{1э} = \frac{20 \cdot 140}{3} = 935 \text{ ом};$$

$$R''_{1э} = \frac{20 \cdot 140}{1,5} = 1870 \text{ ом}.$$

При подборе стандартных трансформаторов эти значения можно увеличить на 10—20% или уменьшить на 5—10%.

Для проверки расчета следует определить общую величину приведенных сопротивлений первичных обмоток всех трансформаторов. Приведенные к первичным обмоткам трансформаторов сопротивления громкоговорителей на 1,5 *вт* дают общее сопротивление

$$R_1 = \frac{1870}{4} = 465 \text{ ом},$$

а общее приведенное сопротивление громкоговорителей на 3 *вт* составляет

$$R_2 = \frac{935}{4} = 233 \text{ ом}.$$

Следовательно, общее приведенное сопротивление всех громкоговорителей равно

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{465 \cdot 233}{465 + 233} = 156 \text{ ом}.$$

Эта величина отличается от исходной (140 *ом*) примерно на 11,5%, что вполне допустимо.

Коэффициент трансформации трансформатора для громкоговорителей на 3 *вт* будет

$$n_1 = \sqrt{\frac{935}{R_{н1}}},$$

а для громкоговорителей на 1,5 *вт* составит

$$n_2 = \sqrt{\frac{1870}{R_{н2}}},$$

где $R_{н1}$ и $R_{н2}$ — сопротивления звуковых катушек громкоговорителей на переменном токе.

Монтаж усилительных установок. При расстановке микрофонов и громкоговорителей в закрытом помещении или под открытым небом надо выбирать их взаимное расположение так, чтобы создаваемые громкоговорителями звуковые волны достигали микрофона в сильно ослабленном виде, иначе между ними возникнет акустическая обратная связь и передача будет неразборчивой или даже возникнет «вой». Особенно благоприятствует его возникновению внезапный импульс громкости.

Громкоговорители желательно располагать по обеим сторонам микрофона. При наличии в зале колонн громкоговорители следует крепить на них. Примеры правильного взаимного расположения громкоговорителей и микрофона приведены на рис. 8-15. Наилучшее размещение громкоговорителей определяется опытным путем.

При размещении аппаратуры усилительной установки надо руководствоваться соображениями удобства эксплуатации и ремонта аппаратуры, а также надежности монтажа. В частности, не следует усилительную аппаратуру располагать вплотную к стене: это не только затрудняет доступ к монтажу и усложняет ремонт, но и представляет известную опасность в пожарном отношении. Все подходящие к аппаратуре провода и кабели желательно располагать в стеллажах на специальных стенных кронштейнах на высоте около 2 *м* над полом.

Микрофонные и все другие линии, присоединенные ко входу усилителя, должны быть тщательно экранированы без разрывов. Экранирование линий надо производить тем тщательней, чем больше следует после линии усилительных каскадов. Тщательному экранированию также подлежат трансляционный приемник, звукосниматель на граммофонном пульте, их переключатель и регу-

Рис. 8-15. Примеры размещения микрофона и громкоговорителей при усилении речей на открытом воздухе (*а*) и в зале (*б*).

ляторы громкости. Все металлические части конструкций и кожухи источников программы и связанных с ними приборов (микрофонный штатив, капсюль, усилитель и батарейный ящик, кожух приемника, панель граммофонного пульта и др.) должны быть заземлены. Заземление осуществляется в одной точке (лучше всего на оконечном усилителе), а все остальные экранирующие оболочки соединяются между собой в порядке последовательности прохождения сигнала. Линии громкоговорителей также полезно проложить освинцованным двухжильным кабелем, но можно ограничиться экранированием выходных линий только в помещении радиоузла; при этом одну из жил линии рекомендуется соединять с заземлением. Но если выходные линии не экранируются даже в помещении радиоузла, то они должны быть проложены отдельно от входных и по возможности на большем от них расстоянии.

Линия для головных телефонов. На некоторых радиоузлах, например в больницах, необходимо обслуживать слушателей с помощью головных телефонов. Телефоны для нормальной работы требуют более низкого напряжения, чем громкоговорители с трансформаторами. Кроме того, число включенных в тот или иной момент телефонов может сильно колебаться. Поэтому для включения телефонов следует устраивать отдельную линию, присоединенную на радиоузле к выходу усилителя через специальный секционированный трансформатор, допускающий регулирование согласования линии с усилителем в зависимости от числа включенных телефонов. Целесообразно предусмотреть возможность переключения первичной обмотки этого трансформатора на выход приемника. Тогда линия с телефонами может работать и при выключенном усилителе радиоузла. При расчете трансформатора для линии головных телефонов можно считать, что мощность одной пары телефонов составляет около 0,01 *вт*, а полное сопротивление их на частоте 800 *гц* равно 12 000 *ом* (для высокоомных телефонов, у которых сопротивление постоянному току равно 4000 *ом*). Линия телефонов может быть неэкранированной, но один из проводов ее надо заземлять.

Регуляторы уровня и смесители. Регулирование уровня передач, поступающих на радиоузел от микрофонов или других источников программы, соединенных с усилителем согласованной линией, а также желаемое иногда смешение двух передач (например, передача информаций на фоне музыки) не должны нарушать согласования сопротивлений источника программы, линий и входных цепей усилителя, так как могут получиться неправильные соотношения громкости и даже значительные частотные искажения. Обычные потенциометры не подходят для этой цели, поэтому приходится применять специальные регуляторы (рис. 8-16), состоящие из объединенных на одной оси нескольких переменных сопротивлений; они работают так, что в процессе регулирования уровня величина входного и выходного сопротивления не меняется. На рис. 8-17 показано применение таких регуляторов для смешения и плавного переключения программы.

Индивидуальное управление громкоговорителями. Чтобы при отключении отдельных громкоговорителей на линии не нарушалось согласование ее с выходом усилителя, применяют переключатели, которые, выключив громкоговоритель, включают вместо него эквивалентное нагрузочное сопротивление. Переключатель можно ввести в первичную или вторичную обмотку трансформатора, питающего громкоговоритель (рис. 8-18).

Помимо возможности отключать отдельные громкоговорители, часто желательно иметь возможность регулировать порознь их громкость. Чтобы при этом также не нарушалось согласование линии и не изменялась нагрузка усилителя, ставят Г-образные ступенчатые регуляторы по схеме на рис 8-19, *а*. В большинстве

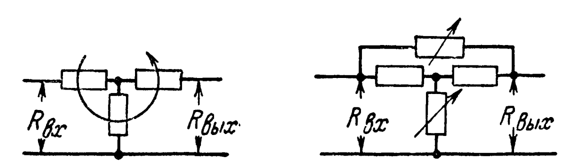


Рис. 8-16. Схемы регулирования уровня в линии с согласованным сопротивлением.

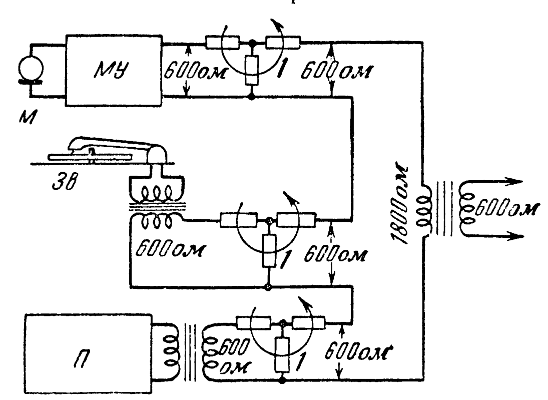


Рис. 8-17. Смешение и плавное переключение программы.

1 — аттенюаторы на 600 *ом*; *М* — микрофон; *МУ* — микрофонный усилитель; *Зв* — звукосниматель; *П* — приемник.

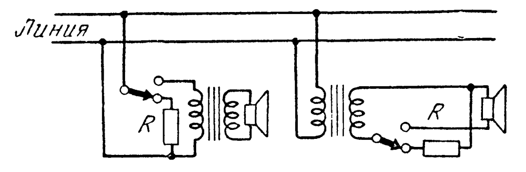


Рис. 8-18. Независимое выключение громкоговорителей.

случаев допустимо применение ступенчатых регуляторов на три-четыре ступени громкости.

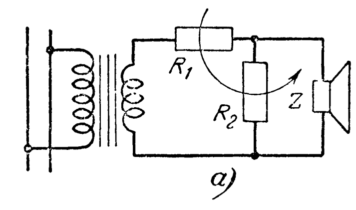
Пример Г-образного ступенчатого регулятора для электродинамического громкоговорителя с полным сопро-

тивлением звуковой катушки в 6 *ом* представлен на рис. 8-19, *б*. Для громкоговорителя с иным сопротивлением звуковой катушки сопротивления Г-образного регулятора могут быть рассчитаны по формулам

$$R_1 = Z\frac{n-1}{n}; \qquad (8\text{-}4а)$$

$$R_2 = \frac{Z}{n-1}, \qquad (8\text{-}4б)$$

где R_1 и R_2 — последовательное и параллельное сопротивления регулятора;
Z — полное сопротивление звуковой катушки громкоговорителя;
n — отношение, в котором необходимо понизить напряжение.



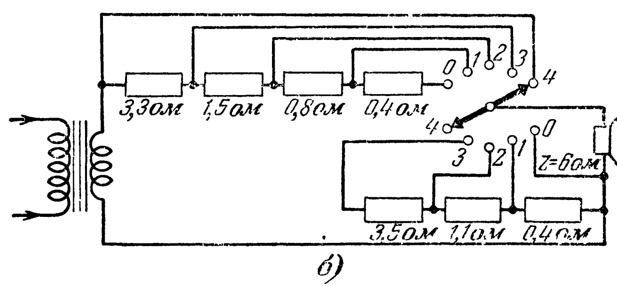


Рис. 8-19. Г-образный регулятор громкости.

а — принципиальная схема; *б* — практическая схема регулятора на четыре положения.

Для регулятора на четыре положения (пятое — выключено) числа n будут равны: 1, 2,2, 5, 15. В положении «выключено» R_1 должно быть равно Z, а $R_2 = 0$, что соответствует замене параллельного сопротивления прямым проводником достаточно большого сечения.

8-3. Источники питания радиоаппаратуры

Сеть переменного тока. Приемники и усилительные устройства, рассчитанные на питание от сети переменного тока, сохраняют нормальную работоспособность при отклонении напряжения в электросети от номинального в пределах $+5 \div -10\%$.

Если напряжение в сети превышает номинальное более чем на 5—10%, то это приводит к перекалу нитей ламп и преждевременному их выходу из строя. Следствием перенапряжения может быть также пробой электролитических конденсаторов в анодных цепях ламп.

Пониженное напряжение электросети также может ускорять потерю эмиссии некоторых ламп, а главное — приводит к резкому ухудшению основных характеристик радиоустройств (снижению неискаженной выходной мощности и чувствительности, к срыву генерации гетеродинов супергетеродинных приемников).

В отдельных местностях встречаются электрические линии с систематически пониженным напряжением из-за постоянной перегрузки. В этих случаях для обеспечения нормальной работы радиоустройств их необходимо включать в сеть через регулировочный автотрансформатор.

Для того, чтобы в случае повышения напряжения электросети до номинального аппаратура не оказалась в форсированном режиме питания, автотрансформатор желательно снабжать вольтметром переменного тока или простейшими индикаторными устройствами. В качестве последних могут применяться неоновые лампы с добавочными сопротивлениями, подбираемыми таким образом, что лампы вспыхивают лишь при определенном напряжении.

На рис. 8-20 приведена схема автотрансформатора с двумя неоновыми лампами, одна из которых горит,

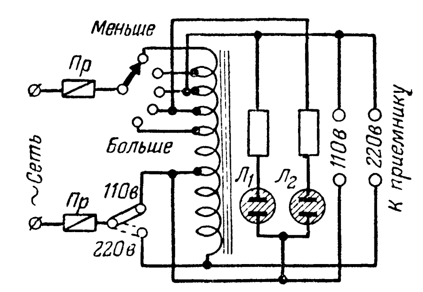


Рис. 8-20. Схема регулировочного автотрансформатора с индикаторными неоновыми лампами.

$Л_1$ — нормально горит; $Л_2$—сигнализатор перенапряжения.

если напряжение выше минимально допустимого для питания радиоаппаратуры, а вторая вспыхивает при повышении напряжения сверх нормы. Таким образом эти лампочки сигнализируют о необходимости как снижения так и повышения напряжения с помощью регулировочного автотрансформатора.

Большие удобства представляет применение феррорезонансного стабилизатора, который поддерживает на своих выходных зажимах номинальное напряжение при существенных отклонениях напряжения электросети (обычно в пределах $-30 \div +20\%$), а также при изменении нагрузки.

Пользуясь феррорезонансными стабилизаторами, следует иметь в виду, что наиболее тяжелым режимом их работы является холостой ход. Поэтому сначала надо подключить к стабилизатору приемник и лишь затем включать стабилизатор в электросеть. Выключение производится в обратном порядке.

Гальванические элементы. Гальванические или первичные элементы создают э. д. с. за счет происходящих в них химических процессов. Выпускаемые сухие элементы состоят из цинка (отрицательный электрод), угля (положительный электрод), раствора нашатыря с примесью крахмала (электролит) и смеси перекиси марганца с графитом (деполяризатор). Так как э. д. с. элемента зависит только от примененных в нем веществ и не зависит от количества этих веществ, то все элементы обладают одинаковой начальной э. д. с., которая в зависимости от посторонних примесей в них колеблется от 1,4 до 1,65 *в* (в среднем 1,5 *в*). Начальное рабочее напряжение (на зажимах) меньше начальной э. д. с. в среднем на 0,1 *в*. Элементы считаются окончательно разряженными, когда их напряжение упадет до 0,7 *в*.

Количество электричества, которое отдает свежеизготовленный элемент в цепь в течение всего разряда, называется его **начальной емкостью** Q и указывается на этикетке в ампер-часах (*а·ч*). По этой величине можно узнать, какой ток может давать элемент в течение заданного времени, или сколько времени он может давать заданный ток:

$$Q = It, \qquad (8\text{-}5а)$$

где Q — емкость, *а·ч*;

I — ток, *а*;

t — время, *ч*.

Из этой формулы можно определить (ориентировочно) число рабочих часов гальванического элемента при заданном разрядном токе:

$$t = \frac{Q}{I}. \qquad (8\text{-}5б)$$

Реальная емкость, которую удается отобрать от элемента, зависит от условий его эксплуатации и обычно не достигает обозначенной на этикетке величины. Это объясняется главным образом следующими причинами.

1. Наличие химических примесей и внутренних утечек тока вызывает саморазряд элементов, который при длительном хранении элементов уменьшает их емкость, а также э. д. с. В среднем в течение первого года хранения промышленные сухие элементы теряют 20—25%, а сухие батареи — до 40—50% начальной емкости. Большое значение имеют условия хранения элементов и батарей. Очень вредное действие оказывают сырость и высокая (от $+15°$ С и выше) температура. При температуре -5—$15°$ С элементы сохраняются в 3—4 раза дольше, чем при комнатной температуре. Замерзшие гальванические элементы и батареи восстанавливают свои свойства после оттаивания.

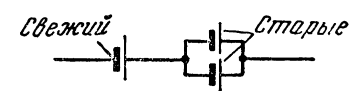


Рис. 8-21. Схема соединения элементов для использования полностью их емкости.

2. Увеличение разрядного тока сверх значения, указанного для данного элемента, вызывает уменьшение емкости до 40—50% от номинальной. Уменьшение разрядного тока вдвое увеличивает емкость в среднем в полтора раза, а число рабочих часов элемента возрастает втрое.

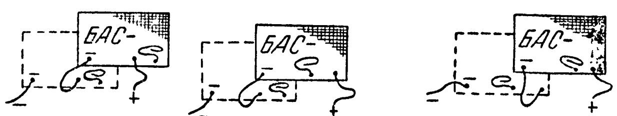


Рис. 8-22. Схемы соединения батарей для использования полностью их емкости.

а — свежие батареи; *б* — после снижения напряжения на 20 *в*; *в* — после вторичного снижения на 20 *в*.

3. Установленное стандартом конечное напряжение, до которого следует разряжать элементы для получения от него полной емкости, составляет 0,7 *в* для накальных элементов и 1 *в* для анодных батарей (на каждый элемент). Накальные батареи обычно удается разряжать лишь до 0,9—1 *в* на элемент, так как при дальнейшем понижении напряжения лампы перестают нормально работать. При этом накальные элементы отдают в лучшем случае 60% емкости. Оставшиеся 40% можно реализовать, если составить батарею накала из свежих и старых элементов (рис. 8-21). Если сухие анодные батареи разряжать не до 1 *в* на элемент, а до 0,7 *в*, что вполне возможно при добавлении свежих секций (рис. 8-22), то отдаваемая ими емкость, а вместе с нею и срок службы батарей увеличивается в 2—3 раза.

4. На реальную емкость гальванических элементов оказывает влияние рабочая температура, при которой происходит их разряд. Пределы рабочих температур сухих элементов и батарей обозначаются входящими в состав марки буквами: Л — летние (от -20 до $+60°$ С), Х — хладостойкие (от -40 до $+40°$ С) и У — универсальные (от -50 до $+60°$ С). Независимо от типа элемента или батареи номинальную емкость они отдают в случае разряда при температуре $+20°$ С, а повышение температуры вплоть до верхнего предела рабочих температур не оказывает заметного влияния на емкость. Понижение рабочей температуры до 0° С уменьшает емкость сухих элементов и батарей на 20—30%. При температуре $-15°$ С они отдают в среднем 50% емкости. Дальнейшее понижение рабочей температуры резко уменьшает емкость, которая при низшем пределе рабочих температур составляет всего лишь 10—30% от номинальной.

5. Когда разрядный ток превышает нормальную величину, полезно применять разряд с перерывами (цикличный разряд). Наибольший эффект получается, если время каждого включения невелико (до 10 *мин*), при этом перерыв должен быть во столько раз дольше включения, во сколько раз ток разряда больше нормального.

Аккумуляторы. Аккумуляторы (вторичные элементы) отличаются от гальванических (первичных) элементов тем, что процесс разряда является у них вторым по счету электрическим процессом, так как разряду предшествует заряд их электрическим током от постороннего первоисточника. Заряд аккумулятора сопровождается химической реакцией, при которой содержащиеся в нем вещества переходят в новые, запасая в себе химическую энергию. При разряде новые вещества восстанавливаются в первоначальные, причем они отдают запасенную в них при заряде химическую энергию в форме электрического тока.

Основным достоинством аккумулятора по сравнению с гальваническим элементом является возможность многократного повторения зарядно-разрядных циклов без потери химических веществ. Кроме того, аккумуляторы позволяют получать от них значительно большие токи, чем от гальванических элементов. Внутреннее сопротивление аккумуляторов много меньше, чем у сухих элементов.

По химическому составу различают аккумуляторы кислотные и щелочные.

Кислотные аккумуляторы дают рабочее напряжение 2 *в* на банку и обладают лучшими электрическими характеристиками, чем щелочные, но требуют более сложного ухода за собой, обладают меньшей механической прочностью и дают вредные для организма человека и для аппаратуры испарения. Как правило, кислотные аккумуляторы применяются в мощных стационарных радиоустановках и располагаются при этом в отдельном помещении. Исключение составляют автомобильные радиоприемники, питающиеся от стартерного аккумулятора автомобиля, который всегда бывает кислотным.

Щелочные аккумуляторы дают напряжение порядка 1,2—1,25 *в* на банку. Небольшие щелочные аккумуляторы широко применяются для питания портативных переносных радиоустройств. Они с равным успехом могут применяться для питания радиовещательных приемников, в неэлектрифицированной местности. Щелочные аккумуляторы наиболее подходят и для малых ветроэлектрических станций. Неприхотливость щелочных аккумуляторов в отношении условий эксплуатации и простота обслуживания заставляют довольно часто отдавать им предпочтение перед кислотными. Серьезную опасность для щелочного аккумулятора представляет температура выше $+45°$ С; она навсегда снижает его емкость до 40%.

Соединение источников постоянной э. д. с. Существуют три способа соединения элементов; последовательное, параллельное и смешанное (рис. 8-23).

Батарея последовательно соединенных элементов (рис. 8-23, *а*) обладает напряжением, равным сумме напряжений всех соединенных элементов.

$$U_0 = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots, \qquad (8\text{-}6а)$$

где U_0 — напряжение батареи;

U_1, U_2, U_3,. . . — напряжения 1-го, 2-го, 3-го и т. д. элементов образующих батарею.

Обычно батарея составляется из одинаковых элементов, т. е. $U_1 = U_2 = U_3$ и т. д.; тогда

$$U_0 = nU_1, \tag{8-6б}$$

где n — количество последовательно соединенных элементов.

Общая емкость последовательно соединенных элементов равна емкости одного элемента. Не изменяется и допустимый разрядный ток.

Рис. 8-23. Соединение источников постоянного тока. *а* — последовательное; *б* — параллельное; *в* — смешанное.

Пример. Батарея состоит из трех последовательно соединенных элементов. Напряжение каждого из них $U = 1{,}65$ *в*. Определить напряжение батареи.

По формуле (8-6, б) находим

$$U_0 = 3 \cdot 1{,}65 = 4{,}95 \text{ в}.$$

Батарея параллельно соединенных элементов (рис. 8-23, б) составляется исключительно из однотипных элементов. Напряжение такой батареи остается тем же, что и у одного элемента, но ее емкость увеличивается во столько раз, сколько элементов соединено параллельно.

$$Q_0 = Q_1 m, \tag{8-7}$$

где Q_0 — емкость батареи;

Q_1 — емкость одного элемента;

m — число параллельно соединенных элементов.

Допустимый разрядный ток параллельно соединенных элементов

$$I_0 = I_1 m, \tag{8-8}$$

где I_0 — разрядный ток батареи;

I_1 — разрядный ток одного элемента;

m — число параллельно соединенных элементов.

Пример. Батарея составлена из четырех параллельно соединенных элементов, емкость каждого из которых $Q_1 = 30$ *а·ч*. От батареи берется ток $I_0 = 300$ *ма*. Определить общую емкость батареи Q_0 и ток разряда каждого элемента I_1.

По формуле (8-7) находим

$$Q_0 = 30 \cdot 4 = 120 \text{ а·ч}$$

и из формулы (8-8) определяем

$$I_1 = \frac{I_0}{m} = \frac{300}{4} = 75 \text{ ма}.$$

Смешанное соединение элементов применяется для одновременного повышения напряжения и разрядного тока. Такая батарея составляется параллельным соединением нескольких групп последовательно соединенных элементов (рис. 8-23, *в*). Число элементов в каждой группе одинаково и определяется из условий получения необходимого напряжения по формуле (8-6). Сколько таких групп надо соединить параллельно, определяется из условий получения необходимого разрядного тока или емкости по формулам (8-7) и (8-8).

Пример. Из сухих элементов типа 6С-МВЦ ($U_1 = 1{,}3$ *в* и $I_1 = 0{,}25$ *а*) надо составить батарею накала для приемника, потребляющего ток накала $I_0 = 0{,}46$ *а* при напряжении $U_0 = 2$ *в*.

Число параллельно соединенных элементов в одной группе, обеспечивающей ток 0,46 *а*, равно

$$m = \frac{I_0}{I_1} = \frac{0{,}46}{0{,}25} = 2 \text{ элемента}$$

Количество групп, обеспечивающее при последовательном соединении напряжение 2 *в*, равно

$$n = \frac{U_0}{U_1} = \frac{2}{1{,}3} = 2 \text{ группы}.$$

Примечание. Две последовательные группы дают напряжение $U_0 = 2{,}6$ *в*. Излишек напряжения в 0,6 *в* нужно погасить реостатом накала.

Зарядное устройство для аккумуляторов. Для зарядки аккумуляторов нужны специальные устройства, конструкция которых зависит от среднего числа одновременно заряжаемых аккумуляторов и от местного источника тока. При наличии сети постоянного тока простейшим из возможных устройств является показанное на рис. 8-24. Аккумуляторы соединяют между собой последовательно и присоединяют к сети через реостат R, который поглощает избыточное напряжение.

Зарядное напряжение на один элемент кислотного аккумулятора надо принимать равным 2,7 *в*, а на один элемент щелочного аккумулятора — 1,8 *в*. Если напряжение сети равно 110 *в*, то наибольшее число элементов, соединенных последовательно, будет 40 кислотных или

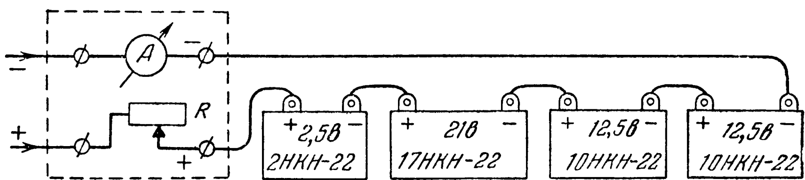


Рис. 8-24. Простейшая зарядная установка.

В данном случае — аккумуляторы щелочные емкостью 22 *а ч*. Число банок 39, следовательно напряжение заряда $U = 70$ *в* и ток заряда $I = 5{,}5$ *а*.

60 щелочных. При зарядке аккумуляторов в одну последовательную цепь можно соединять лишь аккумуляторы с одинаковой номинальной емкостью $Q_{ном}$, так как ею определяется нормальный зарядный ток, равный для кислотных $I_{з.\,к} = \frac{Q_{ном}}{10}$ и для щелочных $I_{з.\,щ} = \frac{Q_{ном}}{4}$.

Этот ток не должен превышаться.

Если предстоит заряжать различные по емкости батареи, то надо либо прибегать к схеме смешанного соединения их, рассчитанной таким образом, чтобы через каждый аккумулятор проходил соответствующий ему зарядный ток, либо образовывать несколько зарядных цепей, рассчитанных на различные токи, для чего каждая цепь должна быть снабжена самостоятельным реостатом и амперметром (рис. 8-25).

Реостаты для зарядных устройств надо выбирать, исходя из двух соображений:

1) диаметр провода реостата должен быть рассчитан на наибольший зарядный ток той цепи, в которую он включается, и 2) полное сопротивление реостата должно обеспечивать гашение излишка напряжения в течение всего заряда аккумуляторов. Как известно, в начале заряда напряжение на один элемент аккумулятора меньше, чем в конце заряда (для элемента кислотного аккумулятора оно может составлять 2,1 *в*, а щелочного — 1,4 *в*),

поэтому в начале заряда имеет место больший излишек напряжения, чем в конце.

Пример. Требуется зарядить от сети напряжением $U = 110$ *в* щелочную аккумуляторную батарею 32АКН—2,25, содержащую 32 элемента и требующую зарядный ток $I = 0{,}56$ *а*.

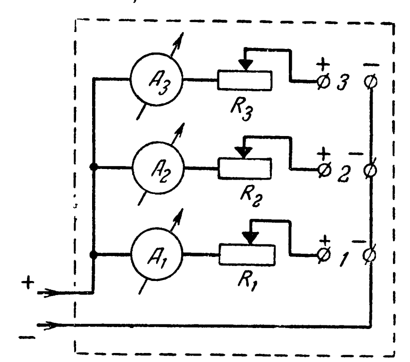


Рис. 8-25. Схема зарядного щитка на три зарядных цепи.

В начале заряда напряжение на зажимах батареи составит $1{,}4 \cdot 32 = 45$ *в*, следовательно, излишек напряжения будет равен $110 - 45 = 65$ *в*. Гасящее сопротивление

$$R = \frac{65}{0{,}56} = 116 \text{ ом}$$

Для этой цели можно взять реостат с наибольшим сопротивлением 120—150 *ом*.

Для зарядки аккумуляторов от сети переменного тока нужен выпрямитель достаточной мощности. Для этой цели применяются спаренные машинные преобразователи, ртутные и газотронные выпрямители. Выпрямители для зарядки аккумуляторов снабжаются сглаживающим фильтром, состоящим большей частью только из одного дросселя со стальным сердечником, так как роль конденсаторов выполняют сами заряжаемые от выпрямителя аккумуляторы. Как и на постоянном токе, зарядное устройство снабжается контрольным амперметром и регулятором тока, в качестве которого вместо реостата применяется переключатель числа витков обмотки трансформатора, питающего выпрямитель (при этом повышается к. п. д. выпрямителя).

То или иное зарядное устройство обычно оборудуется при всякой радиомастерской. Особенно важно зарядное устройство для радиомастерских, расположенных в неэлектрифицированных районах. Зарядное устройство может использоваться в этом случае как для нужд самой мастерской, так и для зарядки принятых аккумуляторов.

Таблица 8-2

Основные данные зарядных станций с бензиновыми двигателями

Наименование	Наименование станции		
	1,5-ЭС-3Б	1,5-ЭС-3	3,0-ЭС-3
Тип двигателя	Л-3/2	Л-3/2	Л-6/2
Тип генератора	ЗДН-1000	ЗДН-1500	ЗДН-3000
Мощность, *квт*	1	1,5	3
Количество зарядных цепей	3	3	4
Напряжения и наибольшие токи	36 *в*, 25 *а* и 120 *в*, 1,5 *а*	60 *в*, 25 *а* или 120 *в*, 12,5 *а*	60 *в*, 50 *а* или 120 *в*, 25 *а*
Вес, *кг*	195	195	300

В качестве первоисточника электроэнергии может служить генератор, вращаемый бензиновым двигателем или ветродвигателем. Краткие сведения о промышленных образцах зарядных станций с бензиновыми двигателями даны в табл. 8-2.

Основные правила оборудования зарядных установок и обслуживание аккумуляторов. Работая с аккумуляторами, надо учитывать следующее:

Помещение зарядной установки должно быть отделено от мастерской, должно быть сухим и хорошо вентилируемым. Необходимо остерегаться брызг и паров серной кислоты и едкого кали. Приготовляя электролит, нужно лить малыми дозами серную кислоту в воду, а не наоборот. Следует отделить посуду для электролита кислотных и щелочных аккумуляторов.

Нельзя заряжать в одном помещении одновременно кислотные и щелочные аккумуляторы. Перед началом заряда надо вывернуть пробки у всех элементов. Нельзя ставить под зарядку неисправные аккумуляторы. Составляя зарядную цепь, надо строго соблюдать полярность всех аккумуляторов.

Максимальный зарядный ток в амперах для большинства кислотных радиоаккумуляторов составляет 1/10, а для щелочных — 1/4 от их емкости в ампер-часах. Время заряда кислотных аккумуляторов составляет 10—12 *ч*, а щелочных — 6—7 *ч*. В конце заряда напряжение одного элемента кислотного аккумулятора составляет 2,75—2,8 *в*, а щелочного — 1,8 *в*.

По окончании заряда нужно вытереть сухой тряпкой разбрызгавшийся из банок электролит, а спустя час—два, когда окончится бурление электролита, плотно завернуть пробки и восстановить вазелиновую смазку металлических частей аккумуляторов; при этом нельзя допускать попадания вазелина на резиновые части (пробки, клапаны). Нельзя допускать повышения температуры аккумуляторов (особенно щелочных) выше 40° С (при необходимости нужно уменьшить зарядный ток).

Разряжать кислотный аккумулятор следует до напряжения не ниже 1,8 *в* на элемент, а щелочной — не ниже 1,1 *в*. Плотность электролита и у кислотных, и у щелочных аккумуляторов должна быть порядка 1,18 по шкале удельных весов (22° по шкале Боме). Уровень электролита над пластинами должен быть 8—10 *мм*; по мере испарения электролита элемент надлежит доливать дистиллированной водой.

8-4. Устранение помех со стороны электрических приборов

Радиопомехи бывают как атмосферного происхождения, так и главным образом промышленного (от различных электроустановок, работающих по соседству с приемником), В то время как борьба с атмосферными помехами весьма затруднена, промышленные помехи часто удается устранить с помощью простых средств.

Применяются два способа борьбы с промышленными помехами: повышение помехозащищенности радиоприемника и ослабление или устранение помех в местах их возникновения. Наилучшие результаты дает комбинирование обоих способов борьбы с помехами.

Повышение помехозащищенности радиоприемного устройства достигается применением помехоустойчивых антенн и заземлений (см. стр. 142) и путем предотвращения проникновения электрических помех в приемник из питающей его электросети. Последнее достигается включением в провода электросети защитных фильтров, заграждающих путь токам высокой частоты.

Употребительная схема такого фильтра показана на рис. 8-26. Индуктивности L_1 и L_2 могут выполняться в виде двух независимых высокочастотных дросселей на 1—5 *мгн* или в виде двух одинаковых обмоток, размещаемых на общем сердечнике из высокочастотного ферромагнетика. Очень важно обеспечить минимальную собственную емкость, шунтирующую эти катушки.

Конденсаторы C_1 и C_2 берутся емкостью 0,1—0,5 *мкф*, а C_3 не более 0,025 *мкф* при напряжении сети 110—127 *в* и 0,015 *мкф* при напряжении сети 220 *в*.

Наилучшее действие такого фильтра обеспечивается применением отдельного от приемника заземления для конденсатора C_3 и экранирующей оболочки, которая может быть выполнена из листовой стали толщиной 0,5—1 *мм*.

Такой фильтр целесообразно устанавливать при вводе электросети в радиоприемник или при вводе ее в помещение радиоузла.

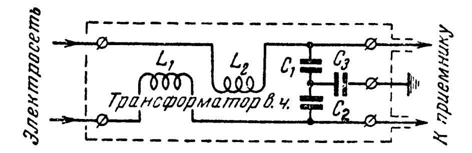


Рис. 8-26. Фильтр, защищающий приемник от проникновения радиопомех из питающей электросети.

Уменьшает проникновение помех из электросети в приемник применение электростатического экрана между первичной и вторичными обмотками силового трансформатора.

Источники промышленных помех и их отыскивание. Наиболее распространенным источником промышленных радиопомех является искра, возникающая при работе различного рода прерывателей и коммутирующих устройств (прерыватель электрического звонка, номеронабиратель телефонного аппарата, стартер лампы дневного света, коллекторы электрических машин, системы зажигания двигателей внутреннего сгорания, электросварочные аппараты). Радиопомехи создают также газоразрядные приборы, работа которых сопровождается резкими скачками тока (ртутные и газотронные выпрямители, люминесцентные лампы, некоторые медицинские аппараты).

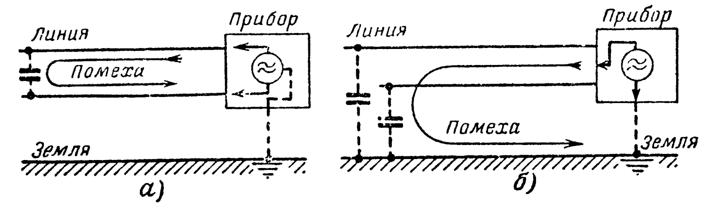


Рис. 8-27. Симметричная (*а*) и несимметричная (*б*) помехи.

Источником или носителем помехи является не только контур, в котором возникает искра, но и питающая электросеть на значительном расстоянии от места искрообразования. Различные цепи и линии, проходящие невдалеке от помехоносителя, также могут воспринять помеху и перенести ее на значительное расстояние от места возникновения. Если первичным помехоносителем чаще всего является электрическая сеть, то вторичными переносчиками помех бывают, например, системы центрального отопления, крыши и металлические каркасы зданий, линии связи и т. п.

В зависимости от способа распространения в протяженных линиях помехи делятся на **симметричные** относительно земли (рис. 8-27, *а*), когда ток помехи замыкается в контуре двухпроводной линии, и **несимметричные** (рис. 8-27, *б*), когда вторым проводом для тока помехи служит земля. Несимметричные помехи создают более сильное электромагнитное поле и значительно опаснее симметричных.

Борьба с промышленными помехами сводится прежде всего к нахождению причины помехи и места ее возникновения. Если нет данных для непосредственного установления их, то пользуются прибором — искателем помех. Этот прибор представляет собой переносный батарейный радиоприемник, обладающий высокой чувствительностью, снабженный рамочной антенной и экранированной антенной-щупом. Определение источника помех основано на том, что слышимость помехи возрастает по мере уменьшения расстояния между ее источником и искателем помех.

При поисках помех нужно пройти антенной-щупом в первую очередь все провода сети, подозреваемые в том, что они являются их носителями. Вольтметром, включенным на выходе приемника, удается даже измерить напряжение помехи, а по нарастанию его можно определить место возникновения помехи. Найдя источник помех, нужно или уничтожить его или заглушить создаваемые им помехи. Для этого прибегают к следующим мерам.

Устранение помех. *Замена прибора, создающего помехи.* В ряде случаев имеются электроприборы аналогичного назначения, но в силу иной конструкции не создающие помех. Тогда наилучшее средство борьбы с помехой состоит в соответствующей замене прибора. Так, в электросети переменного тока всегда возможна замена электрического звонка с прерывателем звонком телефонного типа с постоянным магнитом, работающим без прерывания тока, коллекторные электродвигатели часто удается заменять асинхронными и т. д.

Симметрирование помехи. Поскольку симметричная помеха излучается значительно слабее несимметричной, то весьма эффективной мерой оказывается такое переоборудование создающего несимметричную помеху электроприбора, при котором помеха становится симметричной. Условием возникновения симметричной помехи является симметричность относительно искрящего контакта принципиальной схемы и конструкции прибора.

Примеры симметрирования коллекторного двигателя и электрического звонка с прерывателем приведены на рис. 8-28.

Уменьшение мощности искры. Мощная искра не только является источником сильных помех, но и ускоряет износ электроприбора и снижает его к. п. д. Поэтому меры по уменьшению мощности искры полезны во всех отношениях.

Появление искры при разрыве цепи является следствием колебательного процесса в паразитном колебательном контуре, образующемся из индуктивностей и емкостей этой цепи. Чем выше добротность этого контура и чем больше мощность тока в нем, тем сильнее искра.

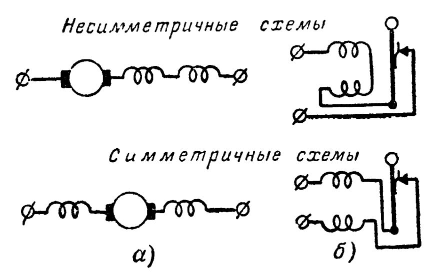


Рис. 8-28. Симметрирование коллекторного двигателя (*а*) и электрического звонка (*б*).

Искрогашение основано на введении в цепь элементов, резко понижающих добротность ее. Практический способ искрогашения состоит в подключении параллельно искрящим контактам последовательно соединенных конденса-

тора и сопротивления (рис. 8-29). Конденсатор C понижает частоту собственных колебаний и характеристическое сопротивление паразитных колебательных контуров, а сопротивление R снижает добротность и позволяет колебательный процесс свести к апериодическому. Оптимальные значения C и R находятся в каждом случае опытным путем и в среднем составляют 0,5 *мкф* и 100 *ом*.

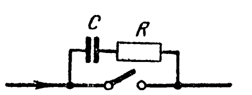


Рис. 8-29. Искрогасительная цепочка.

Фильтрация питающей электросети. Если перечисленные выше способы неприемлемы или дают недостаточный эффект, то прибегают к мерам, которые позволяют локализовать помеху в месте ее возникновения и предотвратить ее распространение.

Для предотвращения проникновения помехи в электрическую сеть применяют высокочастотные фильтры.

Основные типы фильтров приведены на рис. 8-30 в порядке увеличения их эффективности. Несимметричные фильтры (рис. 8-30, *а*) применяют в случаях, когда помеха несимметричная, а симметричные (рис. 8-30, *б*) для источников симметричных помех. На рис. 8-30, *в* приведена схема простейшего емкостного фильтра для трехфазного асинхронного двигателя.

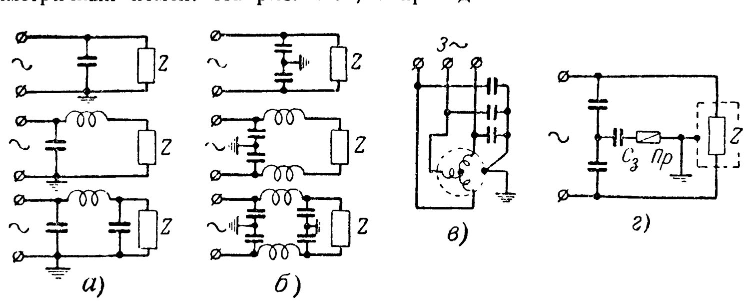


Рис. 8-30. Типовые схемы заграждающих фильтров для обезвреживания электроприборов.

а — несимметричные фильтры; *б* — симметричные фильтры; *в* — фильтр для трехфазного асинхронного двигателя, *г* — фильтр с предохранительным конденсатором и плавким предохранителем.

Емкости конденсаторов в защитных фильтрах обычно составляют 0,05—0,25 *мкф*, а индуктивности дросселей 100—1000 *мкгн*. Следует помнить, что при употреблении в фильтрах конденсаторов, один из выводов которых соединяется с металлическим корпусом обезвреживаемого устройства, техника безопасности запрещает выбор суммарной емкости всех таких конденсаторов более

$$C_з = \frac{3,17}{U}, \qquad (8\text{-}9)$$

где $C_з$ — емкость защитных конденсаторов, *мкф*;
U — напряжение питающей сети переменного тока частотой 50 *гц*, *в*.

Если ограничиваемая этим условием емкость конденсаторов фильтра оказывается недостаточной, то точки, подлежащие заземлению (рис. 8-30), соединяют с корпусом не непосредственно, а через еще один предохранительный конденсатор, емкость которого выбирают по формуле (8-9), причем емкости остальных конденсаторов могут быть увеличены в необходимой мере. В цепь предохранительного конденсатора рекомендуется вводить плавкий предохранитель. Пример фильтра с предохранительным конденсатором представляет схема на рис. 8-30, *г*.

Защитное действие фильтров в сильной мере зависит от их конструкции. Минимальные собственные емкости дросселей достигаются применением секционирования и сердечников из ферромагнитных материалов (альсифер, феррит). Торроидальные сердечники способствуют уменьшению необходимого числа витков и создают наименьшие поля рассеивания. Конденсаторы должны иметь короткие выводы большого сечения и минимальную индуктивность. Лучше всего применять конденсаторы специальных типов (так называемые проходные и опорные).

Для уменьшения излучения помех самими фильтрами, последние, как правило, заключают в кожух из мягких сортов стали и располагают непосредственно на обезвреживаемом приборе при вводе в него питающей линии.

Вторым средством защиты электросети от проникновения в нее помехи является питание прибора, создающего помеху через трансформатор с электростатическим экраном между первичной и вторичной обмотками.

Экранирование источника помех. Хорошее полное экранирование прибора, в котором возникает помеха позволяет предотвратить непосредственное излучение помехи цепью, ее создающей. Это средство обычно имеет смысл после того как все остальные меры испробованы и оказались недостаточными.

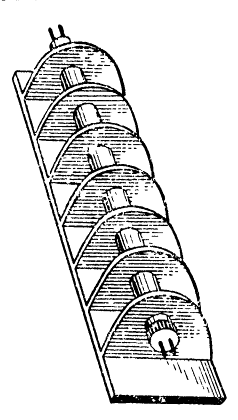


Рис. 8-31. Экранировка лампы дневного света.

Надежное экранирование часто требует сооружения многослойных сплошных экранов из различных материалов (стали, меди, алюминия, пермаллоя) и оказывается сложным и дорогим мероприятием. Его эффективность может быть легко испорчена небольшим недосмотром. Экранировку следует применять наряду с фильтрацией. Надо также иметь в виду, что два тонких экрана значительно лучше, чем один экран двойной толщины.

Тем не менее никогда не следует упускать возможности хотя бы частичной и не вполне качественной экранировки за счет использования металлических корпусов, станин и прочих оболочек, уже имеющихся у обезвреживаемого устройства. Заземление их иногда дает вполне ощутимый эффект.

Общие правила устранения помех. При устранении помех надо учитывать следующее:

Устранение помех обычно связано с необходимостью работ в установках сильного тока, где во избежание аварий и несчастных случаев могут работать только лица, специально допущенные к ним.

Применение средств подавления помех не должно ни понижать электрическую прочность приборов, ни снижать их к. п. д., ни наносить никакого ущерба их работе.

Конденсаторы и фильтры, применяемые для устранения помех, должны быть защищены от случайного прикосновения человека к токоведущим частям. Дроссели должны иметь кожухи, предохраняющие обмотку от механических повреждений. Дроссели и конденсаторы надо выбирать с учетом рабочего напряжения или тока, рабочей темпе-

ратуры, влажности и прочих условий эксплуатации. Для машин мощностью более 0,5 *квт* рекомендуется применять конденсаторы со встроенными плавкими предохранителями, защищающими внешние цепи от короткого замыкания в случае пробоя диэлектрика.

Прежде чем приступить к подбору искусственных мер устранения помехи, надо проверить состояние источника помехи и устранить в нем все дефекты (например, сменить щетки на коллекторе, почистить загрязненные маслом контакты, исправить неплотные соединения).

Сначала надо попытаться обезвредить источник помех простейшими средствами и только постепенно их усложнять Действие применяемых мер следует проверять на расположенном на должном расстоянии приемнике. Все приспособления для защиты от помех должны устанавливаться непосредственно на их источнике, без длинных соединительных линий.

Специфические случаи устранения помех. *В люминесцентной лампе* дневного света источником сильных помех является столб ионизированного газа, одновременно являющийся излучателем помехи. Хорошие результаты по устранению такой помехи дает применение ребристого экрана (рис. 8-31), который также содействует лучшему рассеянию света. При наличии металлического колпака, его также полезно заземлить или соединить при помощи конденсаторов емкостью 0,5 *мкф* с каждым из проводов питающей сети. Стартер блокируется конденсатором емкостью 5000—10 000 *пф.*

Устранение помех со стороны электрооборудования автомобилей достигается следующими мерами: а) каждая зажигательная свеча и ввод кабеля в коробку прерывателя снабжается сопротивлением, величина которого подбирается опытным путем; б) бобина со стороны батареи блокируется конденсатором емкостью 0,1 *мкф*; в) зажимы генератора соединяются с корпусом через конденсаторы емкостью по 1 *мкф* или блокируются конденсатором на 0,5 *мкф*; г) полезно заблокировать аккумулятор непосредственно у зажимов электролитическим конденсатором емкостью от 1 до 100 *мкф.* На машинах, где вокруг свечей имеется достаточно свободного места, целесообразно экранирование свечей специально выпускаемыми для этой цели колпачками.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

МОНТАЖ РАДИОАППАРАТУРЫ

9-1. Выбор деталей

Первая задача, которая встает при монтаже любого радиоаппарата, — это подбор радиодеталей. В общем случае, подбор деталей должен производиться в соответствии со спецификацией, в которой указываются не только номинал, но также и тип каждой стандартной детали, допуск и ряд других характеристик.

Однако в практике радиомастера часто возникает необходимость монтажа радиоприбора по принципиальной схеме, не снабженной полной спецификацией. При этом надо уметь правильно выбрать детали.

При выборе радиодеталей как правило недостаточно ограничиваться соблюдением указываемых на принципиальных схемах номинальных значений емкости или сопротивления. В соответствии с характером электрической цепи, в которую включается данная деталь, надо уметь правильно оценить все требования к ней и выбрать наиболее подходящий тип детали.

Ниже будут описаны характерные особенности и области применения радиодеталей различных типов. Эти сведения облегчат правильный выбор деталей.

Постоянные сопротивления. Кроме номинального значения электрического сопротивления, их характеристиками являются: допуск, номинальная мощность, температурная и временная стабильность, паразитная индуктивность и емкость.

По *допускам* широко применяемые в радиоаппаратуре сопротивления делятся на три класса: 20%, 10% и 5%. В соответствии с этими допусками и безотходной классификацией сопротивлений действуют три шкалы номиналов, приведенные в табл. 9-1.

Для применения в измерительной аппаратуре выпускаются специальные сопротивления с допусками до 0,5% и меньше.

Номинальная мощность сопротивления — это мощность, которую разрешается рассеивать при нормальной температуре окружающего воздуха (20° С). При повышенной температуре допустимая рассеиваемая мощность снижается.

Температурная и временная стабильность современных типов сопротивлений достаточно высока. Тем не менее стабильностью сопротивлений следует интересоваться при применении их в измерительных приборах в цепях, определяющих их точность и градуировку.

Паразитная индуктивность и емкость сопротивлений зависят от их конструкции и бывают нежелательны при включении сопротивлений в высокочастотные цепи.

Таблица 9-1

Номинал	5%	10%	20%	Номинал	5%	10%	20%
10	+	+	+	36	+	—	—
11	+	—	—	39	+	+	—
12	+	+	—	43	+	—	—
13	+	—	—	47	+	+	+
15	+	+	+	51	+	—	—
16	+	—	—	56	+	+	—
18	+	+	—	62	+	—	—
20	+	—	—	68	+	+	+
22	+	+	+	75	+	—	—
24	+	—	—	82	+	+	—
27	+	+	—	91	+	—	—
30	+	—	—	100	+	+	+
33	+	+	+				

Примечание. Остальные номиналы образуются путем умножения приведенных в таблице на 10, 100 и т. п.

Проволочные сопротивления отличаются высоким постоянством электрического сопротивления. Единственным фактором, влияющим на их стабильность, является изменение рабочей температуры. Но при соответствующем выборе диаметра проволоки эти сопротивления могут рассеивать значительные мощности (порядка десятков ватт) при сравнительно малом нагреве.

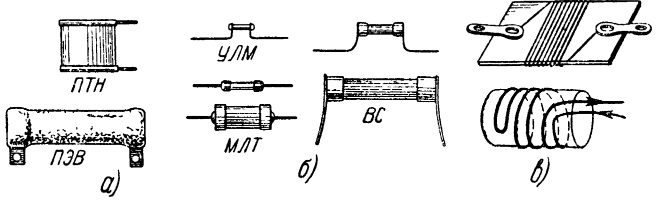


Рис. 9-1. Постоянные сопротивления.

а — проволочные; *б* — непроволочные; *в* — проволочные с малой индуктивностью.

Проволочные сопротивления наматываются на каркасы из изоляционных материалов, выдерживающих расчетную рабочую температуру, которая при большой мощности может достигать 200—300° С.

Распространенными типами мощных нагревостойких проволочных сопротивлений являются остеклованные сопротивления типов ПЭ и ПЭВ (рис. 9-1, *а*), выпускаемые на мощности от 2,5 до 150 *вт*. Их основанием служит фарфоровая или керамическая трубка; проволочная обмотка залита стекловидной эмалью, предохраняющей проволоку от механических деформаций и от влияния влаги.

Поскольку обмотка сопротивлений обладает заметной индуктивностью, то проволочные сопротивления применяют в основном в низкочастотных цепях и цепях постоянного тока.

Собственная емкость высокоомных проволочных сопротивлений (на десятки килоом) также может сказываться уже на частотах в несколько килогерц.

В целях снижения индуктивности применяют бифилярную намотку, т. е. намотку сложенным вдвое проводом (рис. 9-1, *в*), при которой магнитные поля обеих половин обмотки взаимно уничтожаются. Уменьшению индуктивности содействует также применение наиболее тонкого провода (0,02—0,05 *мм*) и плоских каркасов из тонких пластинок диэлектрика, например, слюды. Но и эти меры позволяют применять в высокочастотных цепях только низкоомные проволочные сопротивления до 100—200 *ом*.

Непроволочные сопротивления изготовляются из разнообразных мастик, основной частью которых является углерод, или из тончайших пленок металла. Стабильность современных непроволочных сопротивлений (типов ВС, МЛТ, УЛМ) достаточно высока и обычно составляет не хуже нескольких процентов. Особенно высокой стабильностью обладают специальные типы непроволочных сопротивлений, предназначаемых для измерительной аппаратуры (УЛИ, БЛП, МЛП).

Непроволочные сопротивления выпускаются на номиналы от 27 *ом* до 10 *Мом* и на мощности от 0,12 до 10 *вт*. Они обладают очень малыми паразитными индуктивностями и емкостями и могут применяться в любых цепях радиовещательных приемников.

Переменные сопротивления подразделяются в зависимости от числа выводов, служащих для включения их в схему, на реостаты (два вывода), потенциометры (три вывода) и потенциометры с отводами (четыре и более выводов).

Кроме переменных сопротивлений, предназначенных для работы в качестве регуляторов, снабжаемых ручками, применяются переменные подстроечные сопротивления, величину которых подгоняют лишь при налаживании прибора или ремонте. Подстроечные сопротивления снабжаются либо осью со шлицом для отвертки, либо передвижным хомутиком (рис. 9-2).

Проволочные переменные сопротивления выпускаются с номинальными значениями от единиц ом до 15—50 *ком*, причем наиболее распространены низкоомные номиналы.

Непроволочные переменные сопротивления выпускаются с широким ассортиментом номиналов (от 100 *ом* до 7,5 *Мом*) и имеют номинальные мощности от 0,15 *вт* (тип СПО-0,15) до 2 *вт* (тип СП-2).

Характеристикой переменного сопротивления является закон, по которому увеличивается сопротивление при вращении ручки по часовой стрелке. По этому признаку сопротивления делятся на три группы: А — с линейным законом (равномерное изменение сопротивления), Б — с логарифмическим законом (вначале вращения сопротивление увеличивается быстро, а затем все меньше и меньше) и В — с показательным законом (вначале сопротивление увеличивается медленно, а затем все быстрее и быстрее) — см. рис. 9-3.

Выпускаются сдвоенные переменные сопротивления двух типов: два переменных сопротивления с общей осью для одной общей ручки и два переменных сопротивления с независимым управлением при помощи сдвоенной ручки.

Распространены также переменные сопротивления, объединенные с выключателем, контакты которого размыкаются при повороте ручки против часовой стрелки до отказа.

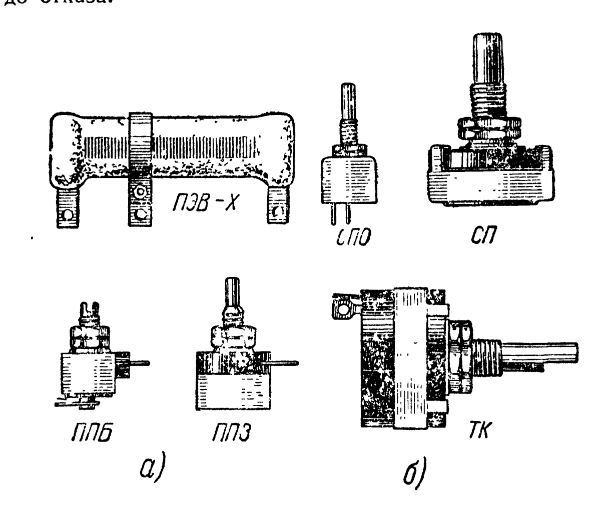


Рис. 9-2. Переменные и подстрочные сопротивления:

а — проволочные; *б* — непроволочные.

Выбор сопротивления надо производить в соответствии с рассеиваемой в нем мощностью.

Сопротивления, включаемые в цепи токов высокой частоты (в колебательные контуры, цепи управляющих сеток и анодов ламп), должны быть безиндукционными, поэтому здесь, как правило, отдают предпочтение непроволочным сопротивлениям, тем более, что при незначительных мощностях, что обычно и имеет место в указанных цепях радиоприемной аппаратуры, эти сопротивления обладают малыми габаритами и создают минимальные емкости. Если же нужно применить проволочные сопротивления, как обладающие более постоянными параметрами, то их обычно изготовляют специально, соблюдая рецепты по уменьшению индуктивностей и емкости.

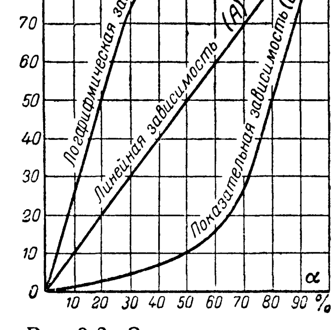
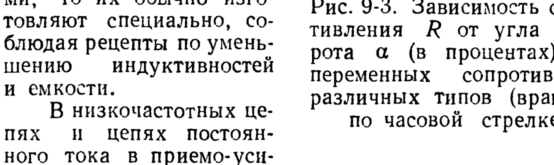


Рис. 9-3. Зависимость сопротивления R от угла поворота α (в процентах) для переменных сопротивлений различных типов (вращение по часовой стрелке).



В низкочастотных цепях и цепях постоянного тока в приемо-усилительной аппаратуре проволочные сопротивления применяют лишь при необходимости рассеивать мощность более 2—5 *вт* (балластные сопротивления, анодные фильтры) или при отсутствии среди непроволочных нужного номинала (низкоомные сопротивления в цепях накала и смещения). В остальных случаях применяются непроволочные сопротивления.

В анодных цепях ламп радиоприемников, исключая выходной каскад, сопротивления должны быть рассчитаны на мощность 0,5—1 *вт*, в цепях экранирующих се-

ток — обычно на мощность 0,5 *вт*. В цепях управляющих сеток ламп могут применяться сопротивления на 0,25 *вт*.

В измерительной аппаратуре, где требуются высокая точность и постоянство сопротивлений, желательно применять проволочные сопротивления, причем для измерений на переменных токах они должны быть бифилярными. Но высокоомные проволочные сопротивления могут оказаться слишком дорогими и громоздкими.

Проволочные сопротивления, величина которых не должна заметно изменяться от нагрева, изготовляются из материалов, которым следует отдавать предпочтение в следующем порядке: манганин, константан, никелин.

Аналогичными соображениями пользуются при выборе переменных сопротивлений. Высокоомные реостаты и потенциометры, от которых не требуется рассеяния большой мощности (регуляторы громкости и тембра), выбираются непроволочными; низкоомные регуляторы, особенно при большой их нагрузке током (например, реостаты накала), делаются проволочными. Чтобы защитить регуляторы от влияния посторонних высокочастотных и низкочастотных полей, их экранируют.

Для того, чтобы регулировка громкости осуществлялась плавно и в широких пределах, применяют переменные сопротивления с экспоненциальной зависимостью (типа В). В качестве регуляторов тембра также часто нужны переменные сопротивления с нелинейной зависимостью (типа В или Б), но есть схемы (обычно при включении регулятора в цепь обратной связи), которые требуют линейной зависимости переменного сопротивления (типа А).

Конденсаторы постоянной емкости. Номинальной емкостью конденсатора называется емкость, которой маркирован конденсатор. При температуре 20° С истинная емкость конденсатора может отличаться от номинальной не больше, чем это оговорено допуском в процентах, и для различных типов конденсаторов может составлять от 0,5 до 20%.

Температурный коэффициент емкости. Большинство конденсаторов при повышенной температуре увеличивает свою емкость. Для объективной оценки зависимости емкости от температуры введен температурный коэффициент емкости ТКЕ, который показывает, на какую долю увеличивается емкость конденсатора при повышении температуры на 1° С:

$$\text{ТКЕ} = \frac{C_{21} - C_{20}}{C_{20}}, \qquad (9\text{-}1)$$

где C_{21} — емкость конденсатора при температуре 21° С, а C_{20} — то же при температуре 20° С.

Зная значение ТКЕ конденсатора, можно высчитать его емкость при любой температуре:

$$C_\text{T} = C_{20}\,[1 + \text{ТКЕ}\,(T - 20)]. \qquad (9\text{-}2)$$

где C_T — емкость конденсатора при температуре Т° С.

В реальных условиях изменение емкости конденсатора под влиянием температуры редко превышает несколько процентов и в ряде случаев не имеет практического значения, но в измерительной аппаратуре и резонансных цепях такое отклонение оказывает существенное влияние на работу аппарата в целом.

Пробивное напряжение — напряжение, при котором происходит пробой диэлектрика, сопровождающийся частичным разрушением его и обычно коротким замыканием обкладок конденсатора (исключая, конечно, воздушные и вакуумные конденсаторы). Иногда после пробоя наблюдается не короткое замыкание, а увеличенная утечка тока через место пробоя диэлектрика. В этих случаях сопротивление конденсатора постоянному току может составлять десятки и даже сотни *ом*.

Испытательное напряжение — напряжение, под которым испытывается конденсатор на прочность при выпуске на заводе. Обычно испытательное напряжение в 2—3 раза превышает рабочее напряжение, тем не менее использовать конденсатор в аппаратуре при подобных значениях напряжения нельзя, так как это значительно сокращает срок службы конденсатора и, кроме того, с повышением напряжения ухудшаются свойства его диэлектрика.

Пиковое напряжение — наибольшее значение кратковременного импульса напряжения на электролитическом конденсаторе, при котором гарантируется сохранность его диэлектрика.

Рабочее напряжение — рекомендуемое заводом предельное напряжение на обкладках конденсатора, при котором гарантируется установленный срок его службы и его электрические параметры.

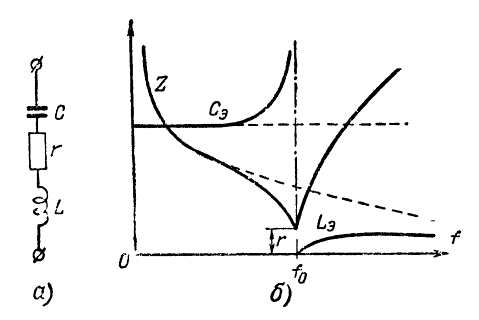


Рис. 9-4. Эквивалентная схема (*а*) и частотные характеристики (*б*) конденсатора.

C — емкость; L — индуктивность выводов; r — активное сопротивление переменному току; Z — полное сопротивление конденсатора; $C_э$ — эквивалентная емкость; $L_э$ — эквивалентная индуктивность; f_0 — частота собственного резонанса. Штриховыми линиями показаны зависимости для идеального конденсатора (в случае $L = 0$ и $r = 0$).

Рабочее напряжение переменного тока (для неэлектролитических конденсаторов) отличается от рабочего напряжения постоянного тока и бывает в 2—3 раза ниже последнего.

Угол потерь рассмотрен на стр. 38.

Паразитная индуктивность конденсатора складывается из индуктивностей выводов и обкладок, причем последняя при неблагоприятной конструкции конденсатора может быть существенной уже на частотах в несколько десятков килогерц.

Паразитная индуктивность приводит к частотной зависимости действующей емкости конденсатора.

Частота последовательного резонанса — это частота при которой возникает резонанс в последовательном колебательном контуре, составленном из емкости и паразитной индуктивности конденсатора (рис. 9-4). На этой частоте полное сопротивление конденсатора минимально и равно сопротивлению активных потерь r. На частотах выше резонансной конденсатор ведет себя как катушка индуктивности и применяться не может.

Конденсаторы постоянной емкости чаще всего изготовляют со следующими диэлектриками: бумажным, слюдяным, керамическим, пленочным и электролитическим. Существуют также вакуумные, воздушные и газонаполненные конденсаторы постоянной емкости, но в радиоприемной и усилительной аппаратуре они не применяются.

Бумажные конденсаторы (рис. 9 5) состоят из лент тонкой фольги и проложенных между ними лент специальной конденсаторной бумаги. Эти ленты свертываются в виде рулонов или галет, упаковываемых в картонные или фарфоровые трубки, либо в жестяные кожухи.

Бумажные конденсаторы выпускаются емкостью от 470 *пф* до 30 *мкф* на рабочие напряжения от 150 до 1500 *в*. Отклонение номинала у них составляет 10—20%, емкость не отличается высокой стабильностью, а ТКЕ и угол потерь значительны (tg δ уже при низких частотах достигает 0,01). Отсюда ясно, что такие конденсаторы непригодны для установки в колебательных контурах.

Бумажные конденсаторы с выводами только от концов ленточных обкладок обладают значительной для высоких частот индуктивностью, которая ограничивает диапазон рабочих частот конденсаторов, особенно большой емкости (микрофарадных).

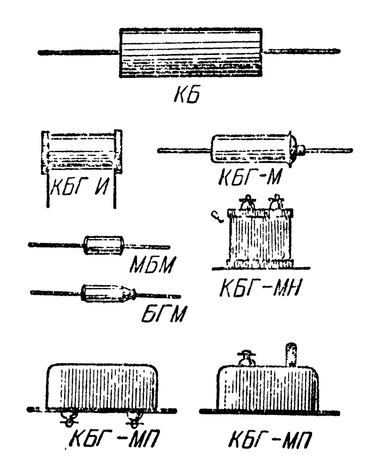


Рис. 9-5. Бумажные конденсаторы постоянной емкости.

Для уменьшения паразитной индуктивности в специальных типах конденсаторов (так называемых безындукционных) выводы припаиваются к лентам фольги не в одной точке, а к бортику каждой ленты по всей ее длине, так что току не приходится проходить по образуемой каждой лентой спирали, и индуктивность конденсатора получается такой же малой, как у плоских многопластинчатых конденсаторов.

В последнее время получают широкое распространение металлобумажные конденсаторы, в которых фольга заменяется тонким слоем металлизации, наносимым непосредственно на поверхность бумажной ленты. Конденсаторы такого типа (МБГП, МБГЦ, МБГО, МБМ) имеют меньшие габариты, чем обычные бумажные и обладают свойством самовосстановления при кратковременном электрическом пробое (тончайший слой металлизации испаряется током короткого замыкания в месте пробоя).

У некоторых типов бумажных конденсаторов выводы не припаиваются к обкладкам, а лишь прижимаются к ним (например, БМ-1, БГМТ-1). Надежное контактирование обеспечивается у таких конденсаторов лишь при приложении постоянного напряжения не ниже 10 *в*.

Слюдяные конденсаторы (рис. 9-6), состоящие из большого числа обкладок фольги, переложенных пластинами из слюды, обычно обжимаются и запрессовываются в пластмассовую оболочку (тип КСО), но выпускаются также герметизированные слюдяные конденсаторы в плоских керамических оболочках (СГМ) и металлических корпусах (КСГ).

Номинальные емкости опрессованных конденсаторов лежат в пределах 51—30 000 *пф*, а для типа КСГ доходят до 0,1 *мкф*. Допуски бывают ±2%, ±5%, ±10% и ±20%. Рабочие напряжения слюдяных конденсаторов лежат в пределах 250—5000 *в*.

Температурная зависимость емкости слюдяных конденсаторов обозначается специальной буквой (от А до Г). Соответствующие им значения ТКЕ приведены в табл. 9-2.

Таблица 9-2

Группа	ТКЕ
А	не нормируется
Б	$\pm 200 \cdot 10^{-6}$
В	$\pm 100 \cdot 10^{-6}$
Г	$\pm 50 \cdot 10^{-6}$

Угол потерь слюдяных конденсаторов при высоких частотах сравнительно мал (tg δ ≈ 0,006), но при опрессовке их некоторыми пластмассами (особенно темных цветов) часто наблюдается резкое увеличение его с течением времени.

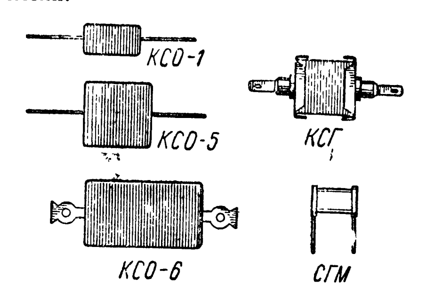


Рис. 9-6. Слюдяные конденсаторы постоянной емкости.

Керамические конденсаторы (рис. 9-7) выполняются в виде пластинок, трубок или горшков, на обеих поверхностях которых наносятся слои металла, выполняющие роль обкладок. Высокая стабильность емкости во времени у этих конденсаторов объясняется отсутствием между твердым диэлектриком и обкладками воздушной прослойки.

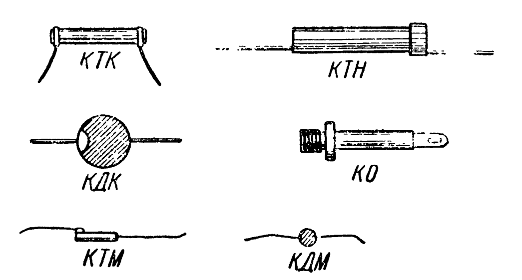


Рис. 9-7. Керамические конденсаторы постоянной емкости.

Керамические конденсаторы малой мощности выпускаются двух типов: высокостабильные (ТКЕ около нуля) и компенсирующие (с отрицательным ТКЕ). Конденсаторы с различными ТКЕ различают по цвету их корпусов (табл. 9-3). Угол потерь меньше у высокостабильных (tg δ порядка 0,0001), но и у компенсирующих он не превышает значений, свойственных слюдяным конденсаторам.

Номинальные емкости малогабаритных керамических конденсаторов лежат в пределах 1—20 000 *пф*, рабочие напряжения — от 150 до 500 *в* постоянного тока.

Таблица 9-3

Группа	Цвет корпуса или точки	ТКЕ
К	Зеленый	$-(1300\pm200)\cdot10^{-6}$
Д	Красный	$-(700\pm100)\cdot10^{-6}$
М	Голубой	$-(50\pm30)\cdot10^{-6}$
Р	Серый	$+(30\pm30)\cdot10^{-6}$
С	Синий	$+(120\pm30)\cdot10^{-6}$
Н	Оранжевый	не нормируется

Керамические конденсаторы, в особенности миниатюрные, обладают наименьшими паразитными индуктивностями и сохраняют работоспособность вплоть до диапазона с. в. ч.

В промышленном ассортименте керамических конденсаторов имеются особые конструкции: проходные и опорные конденсаторы, одна из обкладок которых обеспечивает соединение с металлическим экраном или шасси радиоприбора при совершенно ничтожной индуктивности.

Следует иметь в виду, что среди прочих керамических конденсаторов в ограниченном количестве выпускаются конденсаторы с сегнетоэлектриком (типов КДС и КПС), которые обладают большой емкостью при минимальных размерах, но имеют большой угол потерь и нестабильное значение емкости. Они рассчитаны на применение только в низкочастотных цепях.

Пленочные конденсаторы (рис. 9-8). Развитие технологии синтетических материалов послужило появлению новых конденсаторов с диэлектриком в виде тонкой пленки из полистирола и фторопласта. Пленочные конденсаторы имеют номинальные емкости от 51 *пф* до 0,03 *мкф* и выпускаются на различные рабочие напряжения от 60 *в* (ПМ) до 600 *в* (ФТ). Выпускается также пленочный конденсатор типа ПОВ на 390 *пф* и рабочее напряжение 10 или 15 *кв* (для телевизоров).

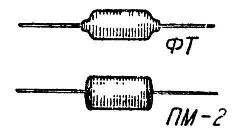


Рис. 9-8. Пленочные конденсаторы постоянной емкости.

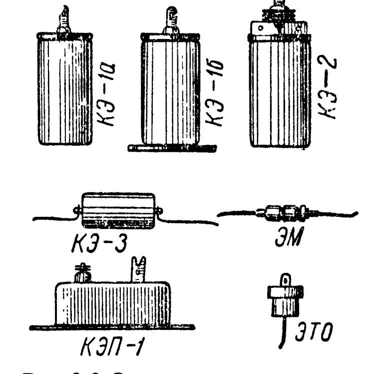


Рис. 9-9. Электролитические конденсаторы.

Пленочные конденсаторы обладают исключительно высоким сопротивлением утечки (более 50 000 *Мом*), высокой стабильностью емкости и работоспособны до частот в несколько мегагерц.

Недостаток конденсаторов с полистирольной пленкой заключается в их низкой нагревостойкости (не выше 60° С). От него свободны конденсаторы с фторопластовой пленкой (типа ФТ).

Электролитические конденсаторы (рис. 9-9) представляют собой совершенно особую по своим свойствам группу конденсаторов. Деэлектриком в них служит чрезвычайно тонкая оксидная пленка на поверхности алюминиевой фольги, формируемая путем электролиза.

Достоинством электролитических конденсаторов является возможность получения очень больших емкостей (до тысяч микрофарад) при малых габаритах. Но эти конденсаторы могут работать лишь при постоянном напряжении (причем необходимо строгое соблюдение его полярности) и переменная составляющая не должна превышать 10% от этого напряжения. Чем выше частота переменной составляющей, тем больше уменьшается действующая емкость конденсатора. Так, при частоте пульсации 400 *гц* емкость в среднем уменьшается вдвое, при частотах 5000—10 000 *гц* она снижается до 0,2 номинальной, а при высоких частотах обращается в нуль.

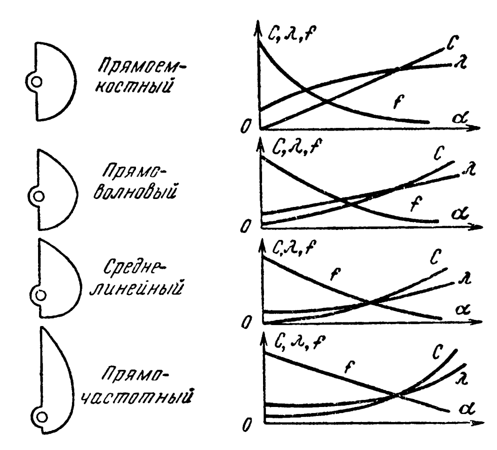


Рис. 9-10. Градуировочные кривые конденсаторов переменной емкости; α — угол поворота.

Все электролитические конденсаторы обладают значительным током утечки, нормально равным десяткам микроампер на 1 *мкф* емкости у высоковольтных и единицам микроампер на 1 *мкф* у низковольтных конденсаторов. Повышение рабочей температуры приводит к сильному росту тока утечки. При длительном хранении электролитические конденсаторы заметно снижают свою емкость, а в иных случаях теряют ее совсем. Для предотвращения этого бездействующие электролитические конденсаторы рекомендуется время от времени ставить под напряжение.

Ассортимент выпускаемых электролитических конденсаторов определяется диапазоном емкостей от 2 до 120 *мкф* при высоких рабочих напряжениях (150—500 *в*) и от 0,5 до 2000 *мкф* при низких рабочих напряжениях (4—100 *в*).

Отклонение емкости электролитических конденсаторов от номинала может составлять от —20% до +50%.

Особенно большую электрическую емкость на единицу объема имеют танталовые электролитические конденсаторы (типы ЭТ и ЭТО), отличающиеся к тому же высокой нагревостойкостью (до 100° С).

Конденсаторы переменной емкости изготовляются с воздушным и с твердым диэлектриком, которым служит полистирольная или иная пленка. Пределы изменения емкости для первых составляют обычно 15—500 *пф*, для вторых от 20—50 *пф* до 150—1000 *пф*.

Воздушные конденсаторы отличаются высокими качествами и постоянством параметров и градуировки, что в меньшей мере свойственно конденсаторам с твердым диэлектриком. Они применяются главным образом для настройки колебательных контуров, причем градуировка шкалы определяется формой подвижных пластин включенного в контур конденсатора (рис. 9-10). Если пластины сделать полукруглыми, то поворот ротора на одинаковый угол α в любой точке шкалы вызовет одинаковое изменение емкости *C*. Такие конденсаторы называются п р я м о е м к о с т н ы м и (график их емкости изображается прямой линией). Они находят применение только в качестве образцовых при измерении емкости. Если требуется

получить равномерную шкалу по длине волны λ, то применяют прямоволновые конденсаторы. В радиовещательных приемниках чаще применяются среднелинейные конденсаторы, обеспечивающие более равномерное расположение станций на шкале. У среднелинейного конденсатора относительное изменение частоты f в любой точке шкалы получается одинаковым.

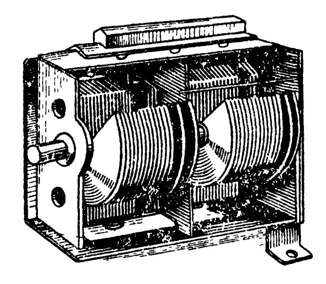
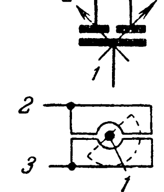


Рис. 9-11. Сдвоенный блок конденсаторов переменной емкости с УКВ секциями.



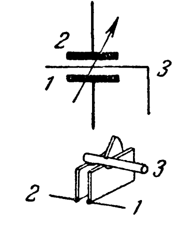


Рис. 9-12. Дифференциальные конденсаторы.

Для получения равномерной шкалы частот служат прямочастотные конденсаторы. Они очень удобны для измерительных генераторов и коротковолновых профессиональных приемников.

Наряду с одиночными конденсаторами переменной емкости для целей одновременной настройки нескольких колебательных контуров выпускаются сдвоенные, строенные и счетверенные блоки. На рис. 9-11 представлен блок

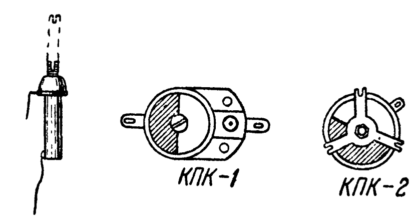


Рис. 9-13. Подстроечные керамические конденсаторы.

конденсаторов переменной емкости, состоящий из двух секций для настройки в диапазонах ДВ, СВ, КВ и двух малых секций для настройки колебательных контуров УКВ блока радиовещательного приемника.

Для точного согласования емкостей всех секций в блоках конденсаторов переменной емкости часто крайние подвижные пластины каждой секции делают разрезными, чтобы отдельные части их можно было слегка отгибать.

Для специальных регулировок (громкости, тембра, связи) изготовляются так называемые дифференциальные конденсаторы переменной емкости, большей частью с твердым диэлектриком (рис. 9-12).

Конденсаторы переменной емкости с малой конечной емкостью (до 10—60 *пф*) называют обычно подстроечными. В качестве диэлектриков у них наряду с воздухом часто применяют слюду и керамику (рис. 9-13). Лучшими из подстроечных конденсаторов являются воздушные на фарфоровом основании и керамические, причем последние обладают тем преимуществом, что при одинаковой максимальной емкости они по размерам меньше воздушных.

Выбор конденсаторов. Конденсаторы с воздушным диэлектриком в виду их относительной дороговизны рационально применять только в высокочастотных колебательных контурах. Можно применять в колебательных контурах также керамические и слюдяные конденсаторы, хотя последние не всегда обладают достаточно малым углом потерь.

Во всех прочих цепях токов высокой частоты можно применять керамические и слюдяные конденсаторы (при емкостях до 1000—5000 *пф*) или безындукционные бумажные (при необходимой емкости более 1000—5000 *пф*)

В цепях экранирующих сеток ламп и в анодных фильтрах высокочастотных каскадов для развязывания цепей допустимо применять безындукционные бумажные конденсаторы; при этом должна быть заземлена или соединена с проводом общего минуса наружная обкладка конденсатора (вывод от нее помечается соответствующим значком на корпусе или торце безындукционных конденсаторов). В низкочастотных каскадах все конденсаторы могут быть бумажные.

При выборе разделительного конденсатора для связи между каскадами надо убедиться в том, что он обладает при рабочем напряжении достаточно высоким сопротивлением изоляции (не менее 500 *Мом*). В цепях сеточного смещения и экранирующих сеток, а также в анодных фильтрах низкочастотных каскадов можно применять для развязывания электролитические конденсаторы, причем их сопротивление постоянному току при рабочем напряжении должно быть, по крайней мере, в 20 раз больше величины включенного последовательно или параллельно с ним сопротивления.

В цепях питания для сглаживания пульсации выпрямленного тока применяются электролитические или бумажные конденсаторы. В выпрямителях, работающих на повышенной частоте (в специальных устройствах), электролитические конденсаторы следует применять лишь при частотах до 1000 *гц*, причем надо иметь в виду, что действующая емкость их будет ниже номинальной. Для блокировки цепей питания с переменным током, в том числе обмоток трансформаторов, применяются бумажные и слюдяные конденсаторы.

Все конденсаторы должны быть выбраны с таким расчетом, чтобы они работали под напряжением, не превышающим их номинального рабочего напряжения. Если переменная составляющая напряжения мала (что имеет место во всех каскадах усиления высокой и промежуточной частоты, а также в цепях первого каскада низкой частоты приемника), то достаточно учитывать только постоянное напряжение на конденсаторе. Но в цепях оконечного каскада и выпрямителя надо учитывать также и переменную составляющую, причем ее надо, по крайней мере, утраивать и прибавлять к напряжению постоянной составляющей, потому что всегда возможны случайные пики напряжения, которые могут пробить диэлектрик конденсатора. Особенно высокое рабочее напряжение (не ниже 1500 *в*) должны иметь конденсаторы, блокирующие высоковольтные обмотки силового трансформатора, и конденсаторы, присоединенные к аноду лампы оконечного каскада низкой частоты.

Конденсаторы переменной емкости для настройки колебательных контуров приемника всегда желательно иметь с воздушным диэлектриком. Из подстроечных конденсаторов для этих целей следует отдавать предпочтение воздушным и керамическим. Еще в большей мере это относится к колебательным контурам измерительных приборов.

Индуктивности. *Классификация.* Индуктивности целесообразно классифицировать по их назначению. Важнейшую группу индуктивностей составляют катушки для резонансных цепей, значительная часть которых делается переменными или подстраиваемыми, так что их индуктивность можно в некоторых пределах изменять. Затем идет группа катушек с постоянной индуктивностью, называемых дросселями. Они служат для преграждения пути переменным токам и выполняются со стальными сердечниками и без них. К отдельной группе индуктивностей следует отнести трансформаторы.

Высокочастотные контурные катушки (рис. 9-14) служат для образования совместно с конденсаторами колебательных контуров, настраивающихся на строго заданные частоты. Поэтому величина индуктивности контурных катушек должна быть очень точной и не изменяться с течением времени. Поскольку точно изготовить катушку заданной индуктивности очень трудно, то, как правило, конструкция контурных катушек предусматривает возможность точной подгонки ее индуктивности. Средства регулирования величины индуктивности высокочастотных катушек показаны на рис. 9-15.

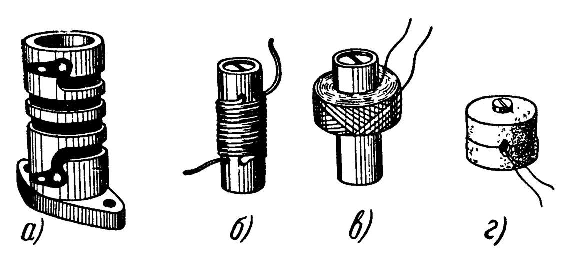


Рис. 9-14. Образцы контурных катушек.

а — ультракоротковолновая (витки нанесены на каркас проводящей массой); *б* — однослойная коротковолновая; *в* — для средних и длинных волн (намотка типа «универсаль»); *г* — то же в броневом (чашечном) сердечнике.

Кроме индуктивности контурные катушки характеризуются также добротностью (стр. 37).

Очень часто у контурных катушек желательно иметь по возможности большую добротность. Для ее повышения, а также для достижения наибольшего постоянства параметров катушки очень важно применять для каркасов катушек высококачественные изоляционные материалы, и чем выше рабочая частота, тем качественней должны быть изоляционные материалы. Желательно также всячески уменьшать массу изоляционных материалов, особенно на коротких и ультракоротких волнах.

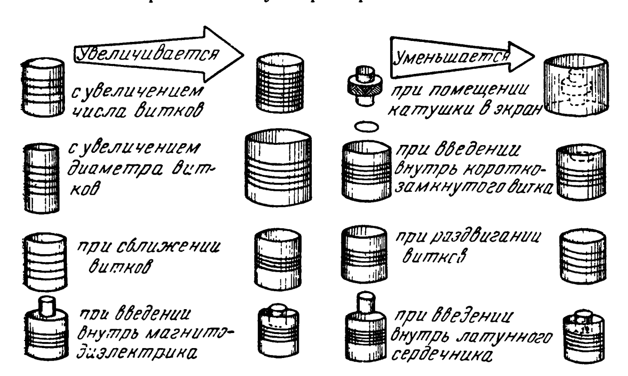


Рис. 9-15. Способы изменения индуктивности.

Облегчает получение высокой добротности применение высокочастотных ферромагнитных сердечников (рис. 9-16), причем однако надо правильно выбирать материал сердечника в соответствии с рабочими частотами катушек (стр. 113—114).

Средством повышения добротности катушек, работающих в диапазонах ДВ и СВ, является применение для их намотки многожильного провода, состоящего из изолированных друг от друга жилок (литцендрата).

Катушки для настраиваемых контуров должны обладать минимальной собственной емкостью (емкость между соседними витками и между витками и корпусом), так как она увеличивает начальную емкость колебательного контура и уменьшает коэффициент перекрытия диапазона и, кроме того, снижает добротность контура. Что касается габаритов контурных катушек, то хотя при больших размерах легче получить большую добротность, все же в современных приемниках предпочитают делать небольшие катушки, которые позволяют компактно смонтировать весь приемник и уменьшить паразитные связи.

Катушки с малой индуктивностью для коротких и ультракоротких волн выполняются в форме однослойной намотки относительно толстым эмалированным проводом, иногда с небольшим шагом между витками. Наилучшим материалом для сердечников этих катушек является карбонильное железо. Средневолновые и длинноволновые катушки, а также катушки контуров промежуточной частоты выполняются по большей части с намоткой типа «универсаль», которая имеет небольшую собственную емкость. Провод для намотки катушек «универсаль» следует брать с шелковой изоляцией. В качестве сердечников для катушек средних и длинных волн наряду с альсифером РЧ и карбонильным железом пригоден также феррит с умеренным значением магнитной проницаемости ($\mu = 20 \div 200$). В последние годы все чаще стали отдавать предпочтение длинно- и средневолновым катушкам, заключенным в чашеобразные сердечники из магнитодиэлектрика. При этом намотка катушки производится «внавал» на специальных каркасах-шпулях.

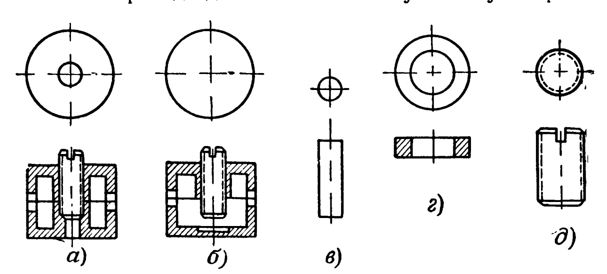


Рис. 9-16. Сердечники для высокочастотных катушек.

а — броневой замкнутый; *б* — броневой с зазором; *в* — цилиндрический; *г* — тороидальный; *д* — подстроечный (с резьбой).

Материал каркаса контурной катушки, как и пропиточные и заливочные массы, оказывают существенное влияние на качество контура, а потому должны выбираться с неменьшей тщательностью, чем провод и магнитодиэлектрик. В отношении электрических характеристик наилучшими являются не требующие пропитки и влагостойкого покрытия прозрачные полистрольные каркасы. Затем в порядке ухудшения диэлектрических качеств можно назвать следующие материалы для каркасов: алюминоксид, высокочастотный стеатит, ультрафарфор, бакелизированные трубки из кабельной бумаги. Последние широко применяются в качестве каркасов контурных катушек для массовых радиоприемников.

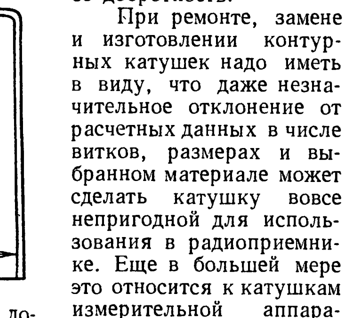
При изготовлении каркасов из картона или других волокнистых, а также пористых материалов для предотвращения капиллярной конденсации влаги готовые каркасы следует пропитывать полистирольным лаком, бакелитовым лаком (он требует горячей сушки при температуре до 140° С), глифталевым лаком, парафином или льняным маслом.

В целях защиты изоляции провода катушки от действия влаги применяется заливка намотанных катушек церезином, для чего изготовленную катушку вместе с каркасом окунают на 2—3 часа в бачок с расплавленным церезином.

При тесном монтаже при необходимости предотвратить влияние магнитных и электрических полей катушки на соседние детали и, наоборот, соседних цепей на катушку

прибегают к экранированию катушек (рис. 9-17). Экраны высокочастотных катушек изготовляются из алюминия. Диаметр экрана должен быть не менее чем в 2—2,5 раза больше диаметра катушки (внешнего диаметра обмотки).

Если катушка выполнена в замкнутом чашеобразном сердечнике из магнитодиэлектрика, то экран может иметь внутренний диаметр всего лишь на толщину прокладки больше внешнего диаметра чаши. Экранирование уменьшает индуктивность катушки (на 15—20%) и ухудшает ее добротность.



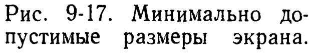


Рис. 9-17. Минимально допустимые размеры экрана.

При ремонте, замене и изготовлении контурных катушек надо иметь в виду, что даже незначительное отклонение от расчетных данных в числе витков, размерах и выбранном материале может сделать катушку вовсе непригодной для использования в радиоприемнике. Еще в большей мере это относится к катушкам измерительной аппаратуры.

Дроссели. Выбор дросселя зависит от того, какие частоты он должен задерживать. Чтобы хорошо выполнить свое назначение при высоких частотах, дроссель должен обладать малой собственной емкостью и относительно небольшим числом витков (от 40—80 витков для ультракоротких до 500—1000 витков для длинных волн). Собственный резонанс дросселя, образуемый его индуктивностью и собственной емкостью, должен быть не слишком острым и во всяком случае резонансная частота дросселя не должна лежать в диапазоне рабочих частот, она должна быть выше самой высокой из рабочих частот.

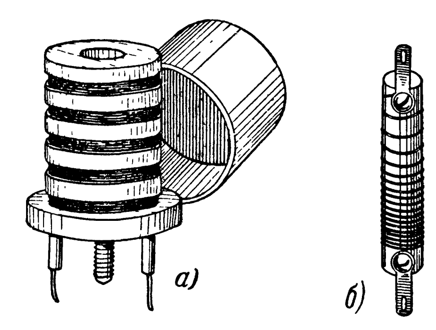


Рис. 9-18. Дроссели высокочастотные: секционированный (*а*) и однослойный УКВ (*б*).

Для уменьшения собственной емкости ультракоротковолновые дроссели наматывают в один слой с переменным шагом, а коротковолновые, средневолновые и длинноволновые секционируют (рис. 9-18), причем числа витков в секциях берут различными.

Уменьшить необходимое число витков и тем самым понизить собственную емкость высокочастотного дросселя удается выполнением его на магнитодиэлектрике (особенно хороши ферритовые цилиндрические и тороидальные сердечники).

Для подавления резонанса иногда практикуют намотку дросселя из провода с большим активным сопротивлением. Однако применение плохих изоляционных материалов у высокочастотных дросселей недопустимо, ибо диэлектрические потери в них увеличивают общие потери энергии. Для заграждения широкой полосы частот целесообразно последовательно соединять два—три дросселя, рассчитанных на различные частоты.

Низкочастотные дроссели со стальным сердечником применяют в сглаживающих фильтрах выпрямителей и реже в качестве анодных нагрузочных сопротивлений низкочастотных каскадов. Особенностью работы и тех и других является наличие постоянной составляющей тока через их обмотку. Это влечет за собой необходимость воздушного зазора в стальном сердечнике (см. стр. 74).

Что касается дросселей сглаживающего фильтра, то обычно их индуктивность составляет 10—20 *гн*. Типичное сечение сердечника — 4—6 *см*^{2}, число витков — от 3000 до 10 000. Диаметр провода должен соответствовать проходящему через обмотку току и не вызывать большого падения напряжения. Собственная емкость сглаживающих дросселей роли не играет, так как частота тока в них очень мала (50—100 *гц*).

Междуламповый или выходной низкочастотный дроссель наряду с большой индуктивностью должен обладать малой собственной емкостью. Для этого его надо наматывать аккуратно, виток к витку, с частыми прокладками из конденсаторной бумаги между рядами обмотки.

Трансформаторы со стальным сердечником. Силовые трансформаторы должны иметь обмотки, рассчитанные на необходимые напряжения и токи. Между обмотками не должно наблюдаться заметных утечек и изоляция должна выдерживать относительно сердечника напряжение не ниже 1,5—2 *кв*, а в специальных высоковольтных трансформаторах для питания электронно-лучевых трубок — до 10—25 *кв*.

Для защиты от проникновения высокочастотных помех из электросети в приемник силовые трансформаторы часто снабжаются так называемой экранирующей обмоткой, отделяющей вторичные обмотки от первичной. Экранирующая обмотка состоит из одного слоя проволоки или незамкнутого слоя металлической фольги, один вывод которой заземляется. Иногда такими же защитными обмотками снабжаются и выходные трансформаторы.

У междуламповых, выходных, трансляционных и прочих низкочастотных трансформаторов, работающих в цепях токов звуковой частоты, наряду с достаточной индуктивностью обмоток большую роль играет коэффициент трансформации, который особенно точно должен соблюдаться у выходных и трансляционных трансформаторов.

Диаметр провода обмоток, нагружаемых большим током, должен выбираться не только в соответствии с величиной тока, но и с учетом допустимого падения напряжения на них. Так, например, вторичная обмотка входного трансформатора для двухтактного каскада, работающего в режиме класса B, могла бы выполняться проводом 0,1—0,12 *мм*, так как ток в ней обычно равен 15—20 *ма* Однако, имея большое число витков, она может при этом обладать сопротивлением в несколько сот *ом*, и тогда падение напряжения в ней может достигать 10 *в* и более Поэтому в указанных трансформаторах вторичные обмотки наматывают и более толстым проводом (0,15—0,25 *мм*), чем это требуется для обеспечения нормальной нагрузки провода током.

Низкочастотные трансформаторы, у которых одна из обмоток включена в анодную цепь лампы (особенно в оконечную), довольно часто снабжаются зазором в стальном сердечнике. У выходных трансформаторов двухтактных усилителей зазор не нужен, потому что направление анодного тока от средней точки первичной обмотки к анодам ламп в обеих половинах ее противоположно, вследствие чего сталь не намагничивается.

Обмотки высококачественных трансформаторов низкой частоты с малой собственной емкостью наматывают в виде отдельных симметрично располагаемых секций. В особо ответственных случаях — в измерительной аппаратуре, для высоковольтных и импульсных генераторов, особенно при повышенной (до 10—20 *кгц*) частоте, секцио-

нированные обмотки устраивают с воздушными промежутками.

Для уменьшения индуктивности рассеяния, ухудшающей работу трансформатора в области верхних частот, применяют секционированную намотку с перемежающимися секциями первичной и вторичной обмотки (см. рис. 4-49).

Выбор стали для низкочастотных индуктивностей. В зависимости от того, нужен ли зазор в сердечнике изготовляемого трансформатора или дросселя или нет, применяются либо разъемные, либо неразъемные пластины. Замкнутые сердечники можно собрать и из разъемных пластин; для этого при сборке сердечника нужно менять направление их укладки (рис. 9-19). Но неразъемные пластины не годятся для сборки сердечников с зазором. Тип пластин (см. стр. 224) нужно выбирать так, чтобы

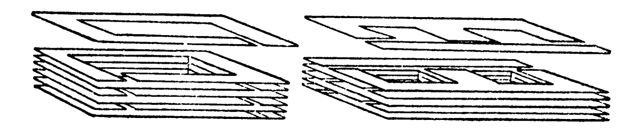


Рис. 9-19. Сборка сердечников без зазора.

в окне сердечника свободно уместились все обмотки. В табл. 9-4 указано, сколько витков провода различного диаметра укладывается в сечении 1 *см²*. При этом из площади окна надо вычесть сечение стенок каркаса катушки и учесть прокладки между слоями и обмотками.

Кроме того, пластины надо выбрать так, чтобы при необходимом сечении сердечника соотношение между толщиной и шириной центрального его стержня, на который помещают обмотки, не выходило за пределы 1 : 3.

Толщина одной пластины может быть 0,5 *мм* у силовых трансформаторов и дросселей; для трансформаторов и дросселей, работающих на звуковых частотах, желательно применять более тонкую сталь (0,2—0,35 *мм*).

Перед сборкой сердечника надо проверить целость серого оксидного покрытия или слоя краски на одной стороне поверхности всех пластин и отсутствие царапин на них. Пластины с поврежденным оксидным слоем надо или заменить, или покрыть с одной стороны тонким слоем масляного лака или нитролака (можно также оклеивать их с одной стороны конденсаторной бумагой). При сборке сердечников надо следить за тем, чтобы изоляционный слой на поверхности пластин не повреждался.

Выбор материала пластин следует производить с учетом сведений о магнитомягких материалах (гл. 5).

Таблица 9-4

Число витков в 1 *см²* сечения плотной намотки

d, *мм*	ПЭ	ПШО	ПБО	ПЬД
0,05	18 000	10 000	—	—
0,07	10 000	6 800	—	—
0,1	5 700	4 250	2070	—
0,12	4 000	3 320	1720	—
0,15	2 800	2 400	1360	—
0,18	2 070	1 800	1100	—
0,2	1 720	1 530	940	665
0,25	1 140	1 020	700	515
0,3	810	740	540	413
0,4	470	450	325	245
0,5	308	302	231	182
0,6	217	217	172	134
0,8	125	128	108	88
1,0	83	85	73	62
1,2	58	59	53	46
1,4	44	45	41	36

9-2. Намотка катушек

Намоточные станки. Намотку катушек удобно производить на специально предназначенных для этого намоточных станках, которые зачастую бывают автоматическими (по достижении заданного числа витков они сами выключаются). Но в распоряжении радиомастерской такие станки бывают не всегда.

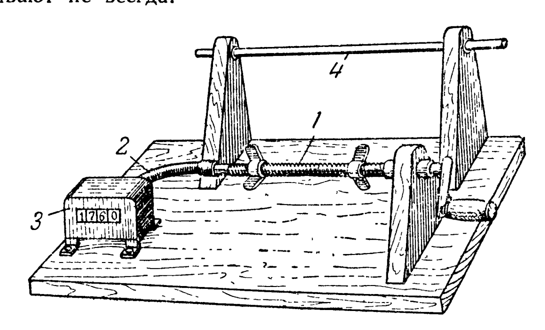


Рис. 9-20. Станок для намотки катушек вручную.

1 — вал с винтовой резьбой и гайками; *2* — гибкий вал (тросик, пружинка); *3* — счетчик оборотов; *4* — стержень для катушек со сматываемым проводом.

Простой станочек, который нетрудно изготовить своими силами, представлен на рис. 9-20.

В состав любого приспособления для намотки катушек прежде всего входит вал, снабженный винтовой резьбой, на котором закрепляется каркас наматываемой катушки. Этот вал приводится во вращение либо вручную с помощью надетой на нем рукоятки, либо электродвигателем мощностью 25—150 *вт*. В последнем случае в устройство станочка вводится переменная трансмиссия или, в крайнем случае, реостат для регулирования скорости вращения вала. К валу присоединяется механический счетчик числа оборотов, в качестве которого в самодель-

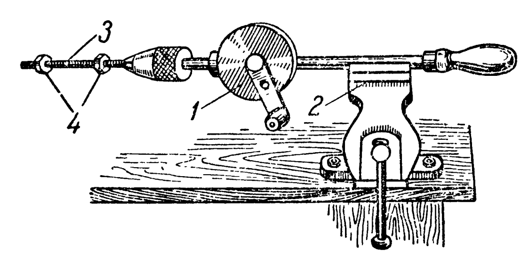


Рис. 9-21. Намоточное приспособление из дрели.

1 — дрель; *2* — тиски; *3* — прут; *4* — гайки.

ных станочках можно приспособить счетчик автомобильного спидометра. Наличие счетчика уменьшает возможность ошибки в подсчете числа намотанных витков и позволяет намотчику сконцентрировать все внимание на качестве укладки витков. Кроме того, в зависимости от типа намотки (рядовая или «универсаль») станочек может быть снабжен тем или иным приспособлением для смещения подаваемого провода вдоль оси вала. Впрочем, такими приспособлениями снабжаются далеко не все станочки, так что часто укладку провода на каркас приходится производить вручную. Необходимой частью намоточного станка является также стержень, на который надевается катушка со сматываемым проводом.

Катушки и обмотки из толстой проволоки наматывают вручную, так как здесь необходимо тщательно следить за укладкой каждой четверти витка, и если только каркас

не круглый, то из-за значительной жесткости и упругости толстого провода станочная намотка получается неплотной.

Катушки небольших размеров можно наматывать при помощи ручной дрели, зажатой в настольные тиски (рис. 9-21).

Катушки низкочастотных трансформаторов и дросселей обычно наматываются на прямоугольных каркасах. Внешние размеры каркаса должны быть на 0,5—1 *мм* меньше соответствующих размеров окна в пластинах сердечника. В случае неразъемных пластин осевая длина каркаса должна быть уменьшена на 2—3 *мм* (рис. 9-22), так как иначе сборка сердечника будет невозможной.

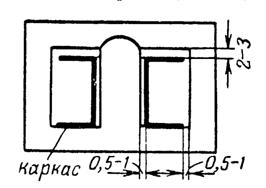


Рис. 9-22. Определение размеров каркаса для неразъемных пластин.

Каркасы изготовляют из электрокартона или тонкого гетинакса, текстолита. Картонные каркасы (рис. 9-23) склеиваются конторским или столярным клеем, а гетинаксовые и текстолитовые собираются «в замок» (рис. 9-24).

Для укрепления каркаса на валу намоточного станка изготовляется деревянная болванка, на которую насаживается каркас.

Витки, особенно у выходных трансформаторов, надо располагать ровными рядами, как нитки на катушке. Для предотвращения западания витков из верхних слоев в нижние, что может привести к пробою трансформатора, через каждые три — четыре слоя обмотки прокладывается слой тонкой пропарафинированной бумаги (можно из бумажного конденсатора). Между обмотками устраивается такая же прокладка из лакоткани. Чтобы у стенок каркаса не образовалось щелей, через

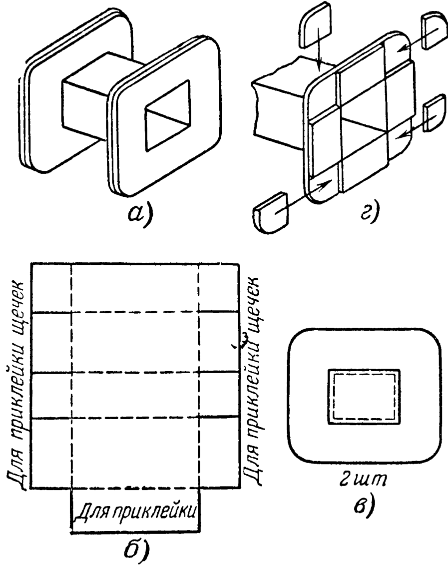


Рис. 9-23. Заготовки и сборка каркаса из электрокартона.

которые проволока могла бы попасть в другие слои, прокладки берут большей ширины, чем ширина каркаса, а по краям их надрезают (рис. 9-25). Намотки навалом безусловно следует избегать; она допустима лишь в дросселях для сглаживающих фильтров выпрямителей, и то не всегда.

Концы обмоток надо обвязывать суровой ниткой, которую затем навивают на катушку и завязывают узлом. Применяют также закрепление концов обмоток с помощью полосок из лакоткани, прижимаемых соседними витками (рис. 9-26).

В случае обрыва проволоки в процессе намотки ее надо аккуратно надпаять без лишнего количества олова, но достаточно прочно и надежно в электрическом отношении и место пайки изолировать небольшим кусочком конденсаторной бумаги, которую прижимают следующими витками.

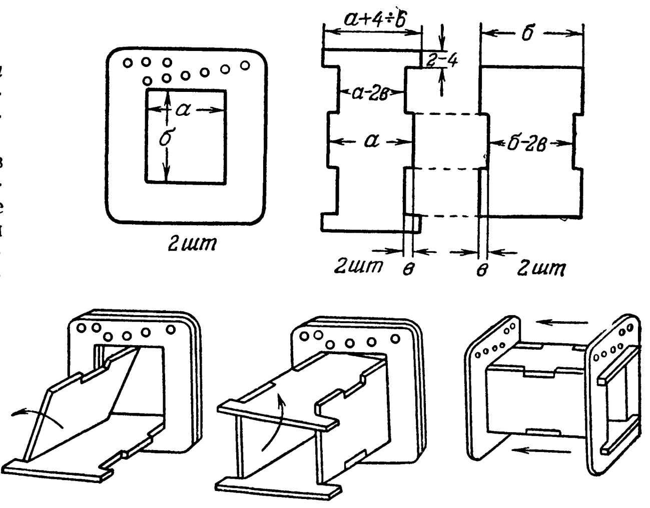


Рис. 9-24. Детали каркаса из гетинакса (текстолита) и порядок сборки «в замок».

Размеры: *а* — ширина пластины сердечника плюс зазор и удвоенная толщина материала каркаса; *б* — толщина набора пластин сердечника плюс зазор и удвоенная толщина материала каркаса; *в* — толщина материала каркаса.

Катушки силовых трансформаторов наматываются так же, как и катушки низкочастотных трансформаторов, но поскольку силовые трансформаторы работают обычно при высоких напряжениях и обладают большой мощностью, намотку их надо производить особенно тщательно, чтобы она не пробилась при включении. Для этого применяется повышенная изоляция между слоями: в трансформаторах мощностью до 60—70 *вт* прокладки устраивают не реже чем через два слоя, а при большой мощности — через каждый слой намотки. Намотка должна производиться равномерными рядами. Между отдельными обмотками прокладывается два — четыре слоя шелковой лакоткани (в зависимости от ее толщины). Погрешности в числе витков у высоковольтных обмоток не должны превышать 2—3, а у накальных — 0,5 витка. Расположение обмоток силового трансформатора показано на рис. 9-27.

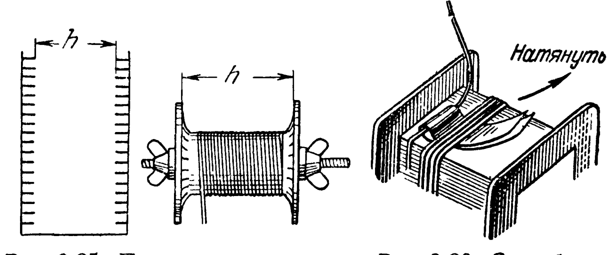


Рис. 9-25. Прокладки между слоями обмоток.

Рис. 9-26. Способ крепления крайнего витка обмотки.

Для повышения влагостойкости изоляции каркас с обмотками полезно пропитать битумом или битумным

компаундом, окуная каркас в расплавленную массу этих веществ.

Иногда бывает необходимо снять, домотать или перемотать небольшое число витков (особенно накальные

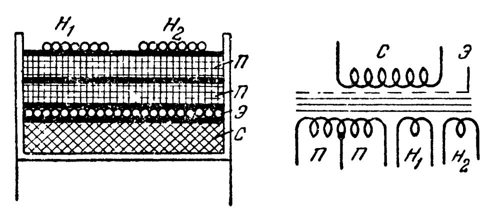


Рис. 9-27. Расположение обмоток силового трансформатора.

С — сетевая обмотка; *П* — повышающие обмотки; H_1 и H_2 — накальные обмотки; *Э* — экранная обмотка.

обмотки у силовых трансформаторов и вторичные — у выходных). В этих случаях можно обойтись без разборки сердечника. Достаточно защитить обращенные к обмоткам

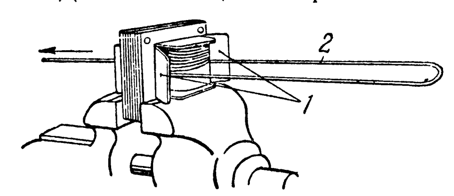


Рис. 9-28. Намотка без разборки сердечника.

1 — картон; *2* — проволока.

ребра сердечника кусками картона (рис. 9-28), отрезать необходимой длины кусок провода, и, зажав трансформатор в тисках, протягивать провод через зазоры между катушкой и защищенным картоном сердечником.

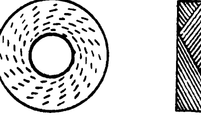


Рис. 9-29. Намотка типа «универсаль».

Намотка типа «универсаль» (рис. 9-29) осуществляется с помощью станочков, снабженных специальным приспособлением для периодического смещения вдоль оси вала (рис. 9-30) подаваемой к намотке проволоки. Чтобы укладываемая зигзагообразной линией проволока не сбивалась, ее обычно пропускают во время намотки через ватку, смоченную разведенным на спирте шеллаком. Тогда при укладывании витки сразу же приклеиваются друг к другу, и катушка приобретает достаточную прочность. При наличии должной тренировки намотку типа «универсаль» удается выполнять и вручную без помощи станка (рис. 9-31).

В заключение отметим, что катушки с обычной намоткой рядами при отсутствии намоточного станка можно наматывать на медленно вращающемся токарном станке, для чего с его шпинделем сочленяют счетчик оборотов, а в патрон зажимают вал для крепления каркасов катушек.

Добавочные сопротивления удобно наматывать вначале с помощью зажатой в настольных тисках малой ручной дрели, в патрон которой вставляется болт, пропущенный через каркас сопротивления.

9-3. Испытание деталей

Раньше чем изготовленную или отобранную деталь установить в собираемый или ремонтируемый аппарат, надо убедиться в том, что она вполне исправна, так как обнаружить неисправную деталь в смонтированном аппарате, содержащем сотни различных деталей, значительно труднее. Ниже рассматриваются способы испытания не вмонтированных в аппарат деталей, но в то же время указывается, как производить соответствующее испытание смонтированной детали, так как это является одним из способов обнаружения дефектов в неисправной, подлежащей ремонту аппаратуре.

Внешний осмотр. До проверки электрических параметров той или иной детали ее надо подвергнуть тщательному внешнему осмотру, при котором могут обнаружиться такие дефекты, что деталь может быть сразу забракована. К числу их относятся вздутие и коробление опрессовки сопротивлений и слюдяных конденсаторов, запах гари у сопротивлений, катушек и трансформаторов, обрывы в катушках и выводах различных деталей, короткое замыкание между пластинами конденсаторов переменной емкости, вздутие электролитических конденсаторов и многие другие.

Надо также убедиться в механической исправности и прочности проверяемой детали, в отсутствии качания штырьков штепсельных соединений отклеенных колпачков и баллонов у ламп, незакрепленных контактных лепестков, свободного хода у роторов конденсаторов переменной емкости и реостатов, плохо стянутых сердечников трансформаторов и т. п. Лишь после детального внешнего осмотра можно переходить к электрическим испытаниям детали.

Испытание сопротивлений. Радиомастер обычно ограничивается измерением величины сопротивления постоянному току, для чего в большинстве случаев достаточно пользоваться омметром. Если же необходимо определить величину сопротивления с большой точностью, то пользуются мостом постоянного тока.

Так как многие омметры пригодны для измерения сопротивления до 0,1—1 *Мом*, то при отсутствии мегомметра

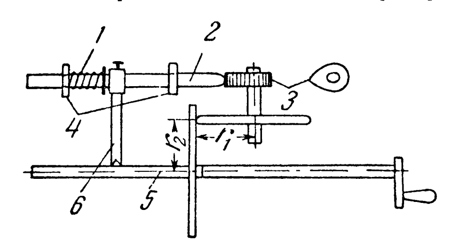


Рис. 9-30. Схема станка для намотки типа «универсаль».

1 — пружина; *2* — толкатель; *3* — кулачок; *4* — стойки; *5* — главный вал; *6* — поводок для укладки провода. r_1 больше r_2 на 2—3 *мм*.

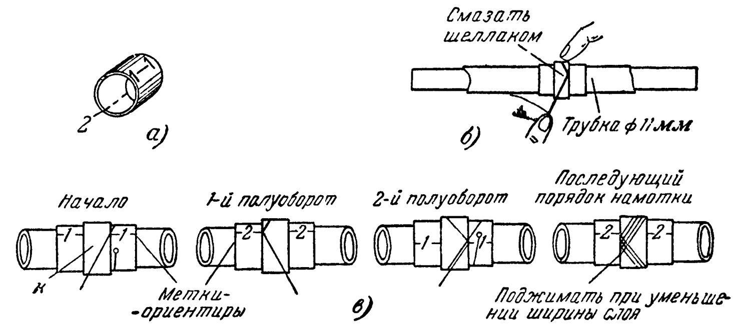


Рис. 9-31. Намотка катушки типа «универсаль» вручную.

а — нанесение двух отметок—ориентиров; *б* — закрепление витков; *в*—схема намотки (*к* — бумажное кольцо).

для измерения больших сопротивлений можно воспользоваться методом вольтметра-амперметра (см. стр. 134). При этом может потребоваться очень чувствительный микроамперметр. В его отсутствии метод вольтметра-амперметра может быть видоизменен следующим образом, причем потребуется только один высокоомный вольтметр.

К вольтметру со шкалой на 150—600 *в* присоединяют источник постоянного тока (батарею или выпрямитель) с напряжением, при котором стрелка вольтметра отклонялась бы по возможности до конца шкалы, и записывают показания вольтметра U_1. Затем последовательно с вольтметром и источником напряжения включают известное сопротивление R_1 (оно должно отличаться от величины испытываемого сопротивления R_x не больше чем в 5—10 раз) и записывают новое показание U_2 вольтметра (рис. 9-32). После этого сопротивление R_1 отключают и включают неизвестное R_x и записывают новое показание U_3 вольтметра. Тогда сопротивление R_x определится по формуле

Рис. 9-32. Измерение вольтметром высокоомных сопротивлений.

$$R_x = \frac{R_1 U_2 (U_1 - U_3)}{U_3 (U_1 - U_2)}. \qquad (9\text{-}3а)$$

Если известно сопротивление вольтметра на используемой шкале (оно может быть определено раз навсегда как $r = \frac{R_1 U_2}{U_1 - U_2}$), то формула (9-3, а) несколько упрощается и

$$R_x = \frac{(U_1 - U_3)\, r}{U_3}. \qquad (9\text{-}3б)$$

Описанный способ пригоден для измерения сопротивлений вообще при отсутствии омметра. Надо только выбирать шкалу вольтметра и напряжение источника тока так, чтобы значения U_2 и U_3 не оказались очень близкими к значению U_1 или к нулю.

Для проверки сопротивления на целость можно воспользоваться пробниками с неоновой лампочкой (см. рис. 7-14, *в*).

При необходимости измерить вмонтированное в аппарат сопротивление надо отпаять один из его концов и лишь после этого подключить к нему измерительный прибор. Измерение в этом случае должно производиться при выключенном питании радиоприемника.

Испытание конденсаторов. *Проверка на замыкание обкладок и измерение сопротивления изоляции.* Сначала испытывают конденсатор на отсутствие короткого замыкания между его обкладками. Для этого можно воспользоваться любым прибором для измерения сопротивления постоянному току, например омметром. При таком испытании конденсаторов большой емкости стрелка прибора в первый момент (пока по цепи проходит ток заряда конденсатора) может отклониться, но затем вернется к началу шкалы. Если данный омметр предназначен для измерения достаточно больших сопротивлений, то одновременно можно и определить сопротивление изоляции бумажных и электролитических конденсаторов (у воздушных, слюдяных и керамических конденсаторов оно слишком велико, и стрелка прибора должна устанавливаться на бесконечность). Но сопротивление изоляции желательно измерять под напряжением (мегомметром с рабочим напряжением до 400—500 *в*).

Нормальным сопротивлением изоляции для бумажных конденсаторов считается 500 *Мом* на 1 *мкф* емкости и минимальным — 100 *Мом* на 1 *мкф*. Следовательно, бумажный конденсатор емкостью в 4 *мкф* должен обладать минимальным сопротивлением $\frac{100}{4} = 25$ *Мом*, а конденсатор емкостью 0,1 *мкф* — не ниже $\frac{100}{0,1} = 1000$ *Мом*.

У электролитических конденсаторов сопротивление изоляции должно составлять от 3 до 10 *Мом* на 1 *мкф*. При измерении сопротивления изоляции электролитических конденсаторов надо быть очень осторожным, чтобы не превысить их рабочего напряжения (особенно у низковольтных) и не нарушить полярность. Для этого надо знать напряжение источников, питающих омметр или мегомметр, и раз навсегда определить вольтметром полярность этих приборов, снабдив их зажимы соответствующими пометками.

Проверку сопротивления изоляции неэлектролитических конденсаторов можно производить неоновой лампочкой с источником постоянного тока, причем напряжение источника должно превышать потенциал зажигания лампочки, но быть меньше испытательного напряжения конденсатора. Испытываемый конденсатор включается в цепь лампочки последовательно с сопротивлением 0,1—0,5 *Мом*. При исправной изоляции лампочка либо совсем не должна загораться, либо вспыхивать только в момент образования цепи.

Такой неоновый пробник очень удобен для обнаружения нестационарных замыканий в воздушных конденсаторах переменной емкости. При испытании их надо медленно вращать ротор и внимательно следить за неоновой лампочкой. Обнаружив положение ротора, при котором происходит замыкание, прекращают дальнейшее вращение его и, легко постукивая стерженьком из изоляционного материала по каждой пластине ротора, выявляют перекошенную пластину. Перекошенные пластины ротора рихтуются пинцетом, но если весь ротор сбит по оси, то необходимо центрировать его перемещением подшипниковых втулок в корпусе конденсатора.

Отсутствие замыкания между обкладками конденсатора, вмонтированного в аппарат, можно определить омметром на низкоомной шкале и не отпаивая выводов конденсатора (при этом, конечно, все питание аппарата с испытываемым конденсатором должно быть отключено). При наличии замыкания стрелка омметра установится на нуле, а при отсутствии такового укажет сопротивление параллельной конденсатору цепи, которое иногда может быть и очень малым (например, катушка из нескольких витков толстого провода). Но для измерения сопротивления изоляции любого конденсатора надо обязательно отпаять один из его выводов.

Измерение емкости. Емкость неэлектролитических конденсаторов измеряется описанными выше (стр. 136) мостами. Емкости в пределах 300 *пф* можно измерить с помощью куметра (стр. 139).

Для измерения емкости электролитических конденсаторов служат специальные приборы, в которых измерение производится при подаче на конденсатор постоянного напряжения. Если такой прибор отсутствует, то как простейшую меру часто применяют испытание электролитических конденсаторов «на искру», состоящее в наблюдении искры разряда при замыкании накоротко только что заряженного электролитического конденсатора. Правда, мощность искры зависит не только от емкости конденсатора, но и от сопротивления его изоляции, но в общем, чем ярче искра и громче сопровождающий ее щелчок, тем лучше конденсатор.

При отсутствии измерительного моста переменного тока или иных приборов для измерения емкости можно пользоваться методом вольтметра-амперметра. Для этого составляют схему по рис. 9-33 и при напряжении U (*в*) с частотой f (*гц*) измеряют ток I (*ма*), проходящий через неизвестную емкость C_x (*мкф*). Тогда

$$C_x = \frac{159 I}{f U}, \qquad (9\text{-}4а)$$

или если $f = 50$ *гц*, то

$$C_x = 3{,}18\frac{I}{U}. \qquad (9\text{-}4б)$$

Если напряжение и частота постоянны, то можно градуировать амперметр непосредственно в единицах емкости; такой прибор называется микрофарадометром. Такого рода измерения применимы, разумеется, только при относительно больших значениях емкости (свыше 50 000 *пф*), когда при частоте 50 *гц* они представляют уже заметную проводимость. Если производить аналогичные измерения при токах значительной частоты, то этот метод приобретает бо́льшую точность и в то же время позволяет измерять меньшие емкости.

Рис. 9-33. Измерение емкости методом вольтметра-амперметра.

Во избежание грубых погрешностей при измерениях тока и напряжения внутреннее сопротивление амперметра должно быть мало по сравнению с сопротивлением испытуемой детали. В противном случае нужно определять напряжение U на самой испытуемой детали, т. е. после амперметра, и притом весьма высокоомным вольтметром. И вольтметр и амперметр не должны давать заметных погрешностей при выбранной для измерения частоте, или эти погрешности должны быть заранее известны, и тогда надо внести соответствующие поправки в показания приборов.

Укажем еще на один простой способ измерения емкости методом сравнения без использования каких-либо измерительных приборов. На рис. 9-34 приведена схема необходимого для этого приспособления.

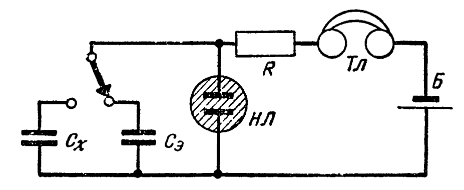


Рис. 9-34. Измерение емкости методом замещения в схеме генератора низкой частоты.

Батарея Б вместе с сопротивлением R, одним из конденсаторов $C_э$ или C_x и неоновой лампочкой *НЛ* образуют генератор релаксационных колебаний. После присоединения батареи конденсатор начинает заряжаться через сопротивление R и напряжение на нем постепенно увеличивается. Когда оно достигает потенциала зажигания неоновой лампы, последняя вспыхивает, разряжает конденсатор и вслед за этим гаснет. Описанный процесс повторяется. Периодичность вспышек неоновой лампы определяется постоянной времени цепи CR. Чем больше емкость, тем больше период и ниже частота вспышек. В телефонных трубках *Тл*, включенных в цепь питания схемы можно услышать тон, соответствующий частоте вспышек. Прослушав тон, возникающий при включении измеряемого конденсатора C_x, подбирают образцовый конденсатор $C_э$, который дает тон той же высоты. Этим самым будет определена неизвестная емкость измеряемого конденсатора.

Для расширения диапазона измеряемых емкостей и ускорения измерений можно ввести в схему на рис. 9-34 переключение сопротивлений R и набор образцовых конденсаторов $C_э$, в том числе градуированный конденсатор переменной емкости.

Испытание повышенным напряжением. Заключительным испытанием конденсаторов является кратковременное включение их под испытательное напряжение, превышающее в 2—3 раза рабочее в случае неэлектролитических, или под пиковое — в случае электролитических конденсаторов.

Такое испытание выдерживают не все конденсаторы, некоторый процент конденсаторов, особенно долго бывших в эксплуатации, при этом пробивается. Подобному испытанию целесообразно подвергать конденсаторы, подлежащие установке в цепи с высокими переменными напряжениями (в анодную цепь оконечного каскада и для блокировки высоковольтных обмоток силового трансформатора). Испытательное напряжение нужно прикладывать к обкладкам конденсатора и между обкладками и корпусом, если он металлический.

Для измерения емкости небольших конденсаторов, вмонтированных в аппаратуру, их необходимо выпаять, чтобы к их емкости не прибавлялась емкость монтажа. Для измерения емкости и испытания повышенным напряжением конденсаторов от 5000 *пф* и больше достаточно отпаивать в монтаже один из их выводов.

Испытание катушек, дросселей и трансформаторов. *Испытание обмоток на целость и измерение их сопротивления* постоянному току производится омметром. Для

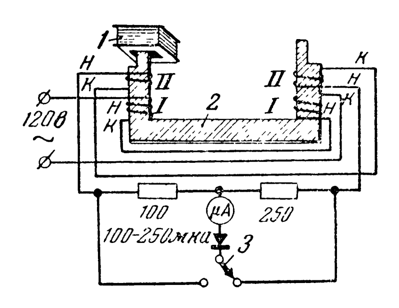


Рис. 9-35. Прибор для обнаружения короткозамкнутых витков.

1 — испытуемая катушка; *2* — стальной сердечник; *3* — переключатель чувствительности прибора.

определения сопротивления обмоток электродвигателей и генераторов, если оно очень мало (до 1 *ом*), пользуются методом вольтметра-амперметра при питании цепи низким постоянным напряжением (5—10 *в*).

Испытание катушек на отсутствие короткозамкнутых витков производится специальным прибором (рис. 9-35), состоящим из надетых на высококачественный стальной сердечник четырех катушек, две из которых питаются переменным током, и миллиамперметра переменного тока, включенного в цепь других двух соединенных навстречу друг другу катушек.

При включении прибора в сеть переменного тока стрелка миллиамперметра не отклоняется, так как э. д. с. вторичных обмоток взаимно компенсируются. Затем на один из кернов сердечника прибора надевается испытываемая катушка или обмотка. Если в ней нет короткозамкнутых витков, то режим работы прибора не изменяется и миллиамперметр попрежнему не будет показывать тока. При наличии же хотя бы одного короткозамкнутого витка симметрия прибора нарушается, э. д. с. вторичных обмоток не компенсируют друг друга и миллиамперметр показывает некоторый ток.

Измерение индуктивности производится при помощи мостов, куметра или методом вольтметра-амперметра.

В случае вольтметра-амперметра в схему на рис. 9-33 вместо емкости C_x нужно включить измеряемую индуктивность L_x, и тогда

$$L_x (гн) = \frac{0,16}{f (гц)} \sqrt{\frac{U^2 (в)}{I^2 (а)} - R^2 (ом)}, \qquad (9\text{-}5а)$$

или если $f = 50$ *гц*, то

$$L_x = 3,2 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R^2}, \qquad (9\text{-}5б)$$

где R — активное сопротивление обмотки, измеренное отдельно омметром или мостом постоянного тока.

Если R меньше чем $0,2 \frac{U}{I}$, то его можно в приведенных формулах не учитывать. Чем больше частота напряжения, при котором производится измерение, тем больше точность измерения и тем меньшие индуктивности можно измерять. Таким методом измеряются полные сопротивления громкоговорителей и трансформаторов при частоте 800 *гц*. Напряжение при этом должен подавать звуковой генератор, вырабатывающий синусоидальные колебания соответствующей частоты. Все, что говорилось об этом методе при измерении C_x, в равной мере относится и к измерению L_x.

Измерение индуктивности методом замещения осуществляется при помощи куметра.

Для определения общей индуктивности обмоток трансформатора надо все их соединить между собой последовательно, соблюдая одинаковое направление витков (конец одной обмотки с началом другой и т. д.).

Для определения взаимной индуктивности M двух связанных катушек (обмоток трансформатора) сначала измеряют общую индуктивность их при согласованном соединении $L_{о.\,с}$, а затем то же при встречном включении $L_{о.\,в}$.

Тогда

$$M = \frac{L_{о.\,с} - L_{о.\,в}}{4}. \qquad (9\text{-}6)$$

Коэффициент связи k на основании этих измерений рассчитывается как

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}, \qquad (9\text{-}7)$$

где L_1 и L_2 — индуктивности каждой из катушек.

Измерение индуктивности с постоянным подмагничиванием. Так как величина индуктивности обмотки,

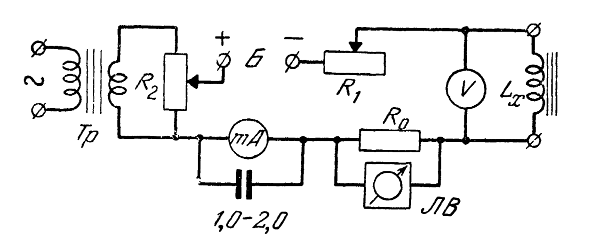


Рис. 9-36. Схема измерения индуктивности при постоянном подмагничивании.

снабженной магнитным сердечником, зависит от наличия постоянного подмагничивания, то измерять ее следует при том значении постоянного тока I_0, при котором используется данная катушка (дроссель).

Схема измерения показана на рис. 9-36. Постоянный ток I_0, который поступает от батареи $Б$, измеряется миллиамперметром mA и величина его регулируется сопротивлением R_1. Затем подводят через понижающий трансформатор $Тр$ переменное напряжение к потенциометру R_2, которым устанавливают в цепи переменный ток $I_\sim$ заданной величины. Величина этого тока определяется из соотношения $\frac{U}{R_0}$, где U — показание лампового вольтметра *ЛВ* и R_0 — точно известное сопротивление. Отрегулировав токи I_0 и $I_\sim$, отмечают показание вольтметра $U_\sim$ — на зажимах измеряемой индуктивности L_x. Сопротивление этого вольтметра должно быть очень велико. Тогда L_x (в генри)

$$L_x = \frac{U_\sim}{6,28 f I_\sim}, \qquad (9\text{-}8а)$$

или если $f = 50$ *гц* и ток $I_\sim$ — в *ма*, то

$$L_x = 3,15 \frac{U_\sim}{I_\sim}. \qquad (9\text{-}8б)$$

Определение начала и конца обмоток. При сборке усилительных и особенно генераторных схем необходимо строгое соблюдение присоединений начала и конца катушек и обмоток трансформаторов. Правильность присоединения их можно определить при налаживании аппарата испытанием различных способов включения, но это можно определить и предварительно. Для этого достаточно соединить исследуемые обмотки последовательно, подать к одной из них содержащей наибольшее число витков, переменное напряжение соответствующей рабочему режиму величины и частоты (для низкочастотных трансформаторов — от сети 50 *гц* или от звукового генератора, а для высокочастотных катушек и трансформаторов — от сигнал-генератора) и измерить подходящим вольтметром напряжение на концах соединенных обмоток. Если оно окажется меньше приложенного от источника, то обмотки соединены навстречу, т. е. начало одной с началом другой (или конец одной с концом другой).

У низкочастотных трансформаторов и дросселей иногда важно определить последовательность, в которой намотаны обмотки, и какие выводы обмоток являются при этом соседними. Это можно определить измерением емкости между выводами различных обмоток: соседними выводами являются те, между которыми емкость, измеренная любым подходящим прибором, получается наибольшей. Начало первой обмотки определяется по максимальной емкости ее вывода относительно стального сердечника.

Определение коэффициента низкочастотных трансформаторов. Одну из обмоток присоединяют к генератору низкой частоты и устанавливают на ней напряжение 1 или 10 *в*, а напряжение на другой обмотке измеряют по возможности высокоомным вольтметром). Если, например, входное напряжение равно 10 *в*, а выходное 30 *в*, то коэффициент трансформации равен 1 : 3.

У силовых трансформаторов вместо определения коэффициента трансформации измеряют напряжения вторичных обмоток под нагрузкой, соответствующей действительным условиям работы. Для этого первичную (сетевую) обмотку включают в сеть, а ко вторичным обмоткам присоединяют регулируемые сопротивления последовательно с амперметрами, по которым устанавливают соответствующие нагрузки.

Вместо регулируемых сопротивлений можно пользоваться специально подобранными постоянными сопротивлениями. Если, например, повышающая обмотка имеет напряжение 300 *в* и должна выдерживать нагрузку током 20 *ма* = 0,02 *а*, то для испытания ее необходимо нагрузочное сопротивление $R = \frac{U}{I} = \frac{300}{0,02} = 15\,000$ *ом*.

Независимо от того, применяется ли регулируемое или неизменное нагрузочное сопротивление, оно должно выдерживать соответствующую мощность. В приведенном

примере оно должно быть рассчитано на мощность $P = UI = 300 \cdot 0,02 = 6$ *вт*.

Работая длительное время (не менее 2 *ч*) под нагрузкой, исправный силовой трансформатор не должен перегреваться (рука должна свободно выдерживать его нагрев).

Испытания качества изоляции между обмотками трансформаторов состоят из следующих элементов: испытание на отсутствие коротких замыканий между выводами различных обмоток, измерение сопротивления между обмотками и испытание изоляции обмоток повышенным напряжением. Эти испытания производятся так же, как соответствующие испытания конденсаторов, для чего служат омметры, мосты постоянного тока и мегомметры, причем производят испытание отдельных обмоток друг относительно друга, относительно сердечника и относительно экранирующей обмотки, если она имеется.

Сопротивление изоляции должно измеряться сотнями мегом у междуламповых, выходных и трансляционных трансформаторов и, по крайней мере, десятками мегом — у силовых. Изоляция должна выдерживать напряжения, в 2—3 раза превышающие напряжения между обмотками в рабочем состоянии.

Испытание электронных ламп. *Предварительное испытание* имеет целью определить целость нити накала

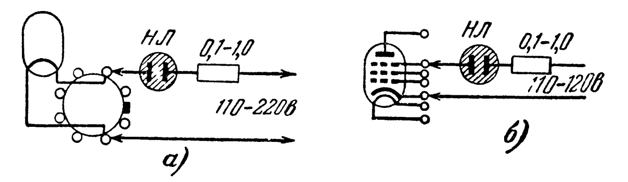


Рис. 9-37. Предварительные испытания ламп.

а — на обрыв нити; *б* — на короткое замыкание между электродами.

лампы и отсутствие коротких замыканий между ее электродами. Такое испытание производится омметром или неоновой лампой *НЛ* (рис. 9-37). При этом нужно только наблюдать, проходит ли ток, если присоединить прибор к выводам нити накала на цоколе лампы, и отсутствует ли он, если подключать прибор к другим электродам. В большинстве приборов для статического испытания ламп предусмотрена возможность удобного и быстрого подобного предварительного испытания.

Статическое испытание ламп представляет собой определение всех параметров лампы, но оно требует довольно сложных аппаратов и производится только в лабораториях. В мастерских же для статического испытания ламп служат упрощенные приборы, называемые и с п ы т а т е л я м и л а м п или ламповыми тестерами.

Измерение эмиссии. Большинство испытателей позволяет определять эмиссию катода, т. е. катодный ток лампы при определенных постоянных напряжениях на ее электродах, которые указываются для различных типов ламп заводом-изготовителем в специальных таблицах, прилагаемых к испытателю: в устройство испытателя входят потенциометры и переключатели, позволяющие по этим таблицам воспроизвести необходимый режим испытания. Получающийся при этих условиях анодный ток считается мерилом пригодности лампы.

Шкала указателя анодного тока часто не градуируется, а делится на два-три сектора с обозначениями: «хорошая», «пригодная» и «непригодная». При испытании ламп на испытателе со шкалой, отградуированной в процентах, хорошими считаются лампы, дающие не менее 70% нормального анодного тока; при 50—69% они считаются еще пригодными, а ниже 50% лампы бракуются вовсе.

Определение эмиссии упрощенным способом может быть осуществлено и без помощи особого испытателя. Для этого достаточно иметь под рукой источники необходимых для испытания лампы напряжений и миллиамперметр (рис. 9-38).

Измерение крутизны характеристики. К электродам испытываемой лампы прикладываются постоянные напряжения, соответствующие ее нормальному рабочему режиму, в том числе и напряжение сеточного смещения должно соответствовать выбранной рабочей точке. Определив по миллиамперметру (рис. 9-39) анодный ток лампы,

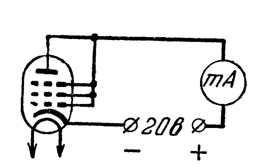


Рис. 9-38. Упрощенный метод измерения эмиссии катода.

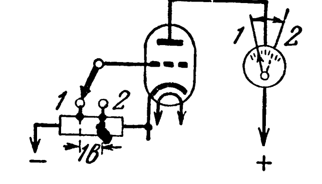


Рис. 9-39. Измерение крутизны характеристики.

уменьшают сеточное смещение точно на 1 *в* и вновь отмечают анодный ток. Прирост анодного тока в миллиамперах определяет статическую крутизну характеристики в *ма/в*.

Испытание вакуума. Для испытания вакуума лампа включается в схему, аналогичную схеме измерения эмиссии или крутизны характеристики, причем отрицательное напряжение на управляющей сетке должно соответствовать выбору нормальной рабочей точки. Заметив величину анодного тока, вводят в цепь управляющей сетки сопротивление в 1 *Мом* (рис. 9-40) и наблюдают за изменением анодного тока. Если по причине плохого вакуума в баллоне лампы имеются положительные ионы, то устремляясь к катоду, они частично передают свой положительный заряд управляющей сетке и она становится менее отрицательной, вследствие чего анодный ток возрастает.

В испытателях ламп, снабженных приспособлением для испытания вакуума, высокоомное сопротивление в цепи сетки шунтируется специальной кнопкой, при нажатии которой оно размыкается.

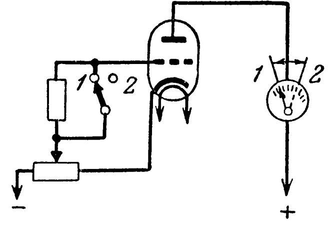


Рис. 9-40. Испытание лампы на вакуум.

Динамическое испытание ламп в радиомастерской производится упрощенно и состоит в проверке работоспособности лампы включением ее в подходящий каскад действующего приемника или усилителя. При этом по лампе постукивают резиновым молоточком, проверяя, не создает ли она слышимых в громкоговорителе тресков или звона.

Тестер-анализатор. Этот прибор полезен не только как испытатель ламп, но и как анализатор, позволяющий быстро измерить рабочие режимы ламп в любом радиоаппарате, не вскрывая последнего.

Характерной деталью тестера-анализатора является переходная промежуточная колодка, включаемая вместо исследуемой лампы в соответствующую ламповую панельку приемника или усилителя. Сама же лампа включается уже в панельку, укрепленную в зависимости от конструкции тестера либо на переходном цоколе, либо на панели тестера. Переходный цоколь соединен проводами с тестером таким образом, что все напряжения и токи, поступающие на исследуемую лампу, подаются и на тестер и могут быть измерены с помощью вмонтированного в него переключаемого вольтамперметра.

Длинные провода, соединяющие переходной цоколь с самим тестером, вызывают значительную расстройку в высокочастотных цепях, а также приводят к образованию паразитных связей, так что в усилителях высокой и промежуточной частоты, а порою и в первом каскаде усиления низкой частоты такой тестер не всегда применим.

Испытание транзисторов. Предварительное испытание состоит в проверке целости *p-n* переходов и выводов от них. Оно осуществляется с помощью пробника или омметра, снабженных низковольтным (1—3 *в*) источником постоянного тока. Поскольку ток проходит через *p-n* переход только в одном направлении, то подключая концы омметра к выводам коллектор-база одним и другим способом, у исправного транзистора мы обнаружим в одном случае низкое (единицы — десятки ом), а в другом случае высокое сопротивление (десятки — сотни килоом).

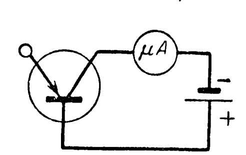


Рис. 9-41. Схема измерения нулевого тока коллектора.

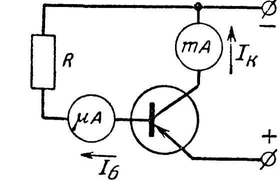


Рис. 9-42. Схема измерения коэффициента усиления по току.

Аналогичные результаты могут быть получены при проверке токопрохождения через эмиттерный *p-n* переход. Следует, однако, иметь в виду, что у некоторых типов транзисторов (главным образом, полученных методом диффузии, например П401—П403) эмиттерный переход пробивается при весьма низком обратном напряжении (порядка 0,5 *в*), и потому может не показать высокого сопротивления при обратной полярности, если омметр питается более высоким напряжением.

При всех испытаниях транзисторов надо не забывать о существовании приборов как *p-n-p* так и *n-p-n* типов и помнить, что полярность источников питания для этих двух типов противоположная.

Измерение нулевого тока коллектора $I_{к0}$ производится по схеме на рис. 9-41, *а*. Для измерения значения $I_{к0}$ необходим чувствительный измерительный прибор (микроамперметр) со шкалой не более чем на 100—200 *мка*.

У маломощных транзисторов значения $I_{к0}$ при напряжениях в несколько вольт и нормальной комнатной температуре (20° С) не должны превышать 10—30 *мка*. Хорошие экземпляры транзисторов, обеспечивающие стабильную работу в широком интервале температур, обладают обратным током коллектора $I_{к0}$ до 1—5 *мка*. Большие значения $I_{к0}$ (более 20—30 *мка*) свидетельствуют о недоброкачественности транзистора и не позволяют надеяться на надежную работу его в течение длительного времени.

У мощных транзисторов значения $I_{к0}$ могут достигать десятых долей миллиампера и для оценки доброкачественности испытываемого транзистора следует измеренное значение $I_{к0}$ сравнивать с указываемым в справочных таблицах.

Измерение коэффициента усиления по току в схеме с общим эмиттером может быть осуществлено простейшим способом по схеме на рис. 9-42. Подбором сопротивления *R* можно добиться такого значения тока коллектора $I_к$, измеряемого миллиамперметром *mA*, при каком будет работать транзистор в схеме. Отсчитав при этом значение тока базы $I_б$ по микроамперметру μA, можно определить коэффициент усиления на постоянном токе

$$B_0 = \frac{I_к}{I_б} \qquad (9\text{-}9\,а)$$

($I_к$ и $I_б$ — в одинаковых единицах).

Если предварительно из тока базы вычесть значение нулевого тока коллектора $I_{к0}$, т. е. вести расчет по формуле

$$B = \frac{I_к}{I_б - I_{к0}}, \qquad (9\text{-}9\,б)$$

то получим коэффициент усиления, характеризующий работу транзистора при большом сигнале (например, в оконечном каскаде усиления класса В).

Для каскадов предварительного усиления важно знать коэффициент усиления по току при малом сигнале β. Для его определения надо применять в схеме на рис. 9-42 переменное сопротивление *R* и, установив сначала заданный ток коллектора $I_к$, увеличить ток базы на 10 или 100 *мка*, чтобы ток коллектора увеличился на 10—20%. Тогда коэффициент усиления при малом сигнале определится отношением приращения тока коллектора к вызвавшему его приращению тока базы

$$\beta = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б} \qquad (9\text{-}9\,в)$$

($\Delta I_к$ и $\Delta I_б$ — в одинаковых единицах).

У хороших транзисторов любая из величин B_0, B и β имеет значение не менее 10 и может достигать 100 и выше.

Для работы в оконечных двухтактных каскадах следует подбирать пары транзисторов с примерно одинаковыми значениями B_0.

Испытание электроакустических приборов. Полные испытания громкоговорителей, звукоснимателей, микрофонов и прочих электроакустических приборов со снятием их частотных характеристик, измерением коэффициента нелинейных искажений и т. п. осуществимы лишь в специальных лабораториях. В практике же радиомастера все электроакустические приборы с помощью простейших приспособлений подвергаются предварительному испытанию, а потом прослушиваются в работе.

Головные телефоны. Предварительное испытание заключается в проверке каждой катушки телефона на це-

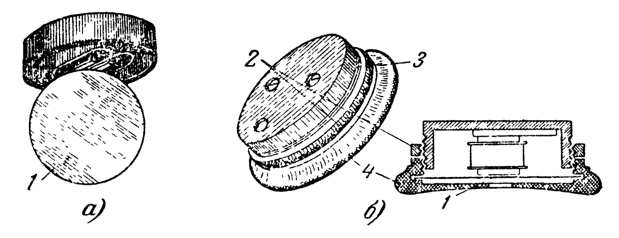


Рис. 9-43. Испытание телефонной трубки.

а — проверка постоянного магнита; *б* — регулирование величины зазора между мембраной и полюсными наконечниками (*1* — стальная мембрана, *2* — контргайка, *3* — корпус, *4* — крышка с мембраной).

лость, измерении их сопротивлений, проверке исправности шнура со штепсельной вилкой и испытании силы магнитов. Стальная мембрана, прислоненная ребром к торцам полюсных наконечников, должна ими хорошо удерживаться (рис. 9-43, *а*). Если мембрана падает, то магниты необходимо намагнитить (например, проводя по ним сильным постоянным магнитом).

Испытание телефонов в работе производится подачей к ним напряжения (5 *в*) низкой частоты от звукового генератора или приемника. Если на какой-нибудь частоте при напряжении 5 *в* появляется дребезжание, то это свидетельствует о слишком близком расположении мембраны к полюсным наконечникам. В этом случае необходимо подложить под мембрану бумажное кольцо или отрегулировать ее положение вращением регулировочной гайки

(рис. 9-43, *б*), специально предусматриваемой для этой цели в некоторых конструкциях телефонов. Слишком сильно отодвигать мембрану от полюсных наконечников нельзя, так как это приводит к резкому снижению чувствительности телефонов.

Громкоговорители, в том числе и электродинамические, испытываются аналогичными методами: предварительное испытание состоит в проверке на целость катушек и в измерении их сопротивлений постоянному току. Следует также проверить отсутствие замыкания катушек и их выводов на металлический корпус, так как последний довольно часто заземляется в монтаже аппаратуры. Если громкоговоритель снабжен выходным трансформатором, то надо убедиться и в его исправности.

Затем к громкоговорителю подают нормальное для его работы напряжение от генератора низкой частоты и, изменяя частоту от нескольких десятков герц до 10—15 *кгц*, прослушивают качество звучания громкоговорителя. Резкое увеличение громкости на отдельных частотах свидетельствует о наличии ярко выраженных собственных резонансов. Дребезжание вызывается порванным диффузором или плохим центрированием подвижной системы. Последнее у электромагнитных громкоговорителей устраняется вращением винта, центрирующего стальной якорь, а у электродинамических громкоговорителей — перезакреплением центрирующей шайбы в такое положение, при котором звуковая катушка не задевает поверхностей, образующих магнитный зазор.

Звукосниматели испытываются прослушиванием граммзаписи на исправном усилителе низкой частоты. Для испытания звукоснимателей выпускаются специальные частотные граммпластинки, на которых записаны тона различных частот при одинаковой амплитуде колебаний. Располагая усилителем низкой частоты с выверенной частотной характеристикой, при помощи этих пластинок нетрудно снять частотную характеристику звукоснимателя, сравнивая измеренные точным вольтметром на выходе усилителя амплитуды воспроизводимых им колебаний различных частот.

Нелинейные искажения проявляются в форме дребезжащих звуков, которые обнаруживаются при воспроизведении указанных граммпластинок. Их причиной у пьезоэлектрических звукоснимателей чаще всего бывает излом кристалла, который тогда необходимо заменить, а у электромагнитных — плохое центрирование якоря между полюсными наконечниками.

Причиной нелинейных искажений может быть и потеря упругости резиновой трубки (демпфера), надетой на детали подвижной системы якоря, а также задевание деталями подвижной системы (в том числе и винтом для зажимания иглы) за корпус звукоснимателя или другие неподвижные части. Эти неисправности устраняются перебором системы звукоснимателя или заменой отдельных частей. Следует иметь в виду, что от свойств амортизирующей якорь резины в сильной мере зависит частотная характеристика звукоснимателя. В заводских звукоснимателях применяется для этой цели резина специальных сортов.

Пониженная отдача у пьезоэлектрических звукоснимателей вызывается порчей кристалла, а у электромагнитных — слишком большим зазором между полюсными наконечниками или, что бывает сравнительно редко, замыканием части витков катушки. Последнее можно обнаружить по уменьшению сопротивления катушки.

Микрофоны. При отсутствии специальной аппаратуры наилучший способ проверки любого микрофона — испытание его в действии. В качестве предварительного испытания, кроме внешнего осмотра, у угольных и электродинамических микрофонов можно измерить их сопротивления. Средняя отдача микрофонов измеряется с помощью усилителя низкой частоты с известным коэффициентом усиления. Измерив напряжения на выходе такого усилителя, надо это напряжение разделить на коэффициент усиления усилителя и результат этот разделить на коэффициент трансформации микрофонного трансформатора, если микрофон подключается ко входу усилителя через трансформатор.

Испытание источников питания и преобразователей. *Испытание источников тока* (гальванических элементов, батарей и аккумуляторов). Раньше чем присоединить те или иные источники тока к радиоаппарату, надо убедиться в их работоспособности. Для этого прежде всего измеряют напряжение на их зажимах, одновременно проверяя их полярность. Затем надо проверить, не слишком ли падает их напряжение под нагрузкой, для чего, не отключая вольтметра, к зажимам источника присоединяют нагрузочное сопротивление такой величины, чтобы через него проходил ток, в 2 раза больший тока, потребляемого радиоаппаратом. Допустимым снижением напряжения на зажимах источника при этом считают 20% для сухих элементов и батарей и 10% для аккумуляторов.

Испытание вращающихся и контактных преобразователей тока. Испытанию этих преобразователей под нагрузкой должна предшествовать проверка доброкачественности их основных частей (внешний осмотр монтажа, проверка первичных цепей на токопрохождение, а вторичных — на отсутствие коротких замыканий). После этого первичные зажимы преобразователя присоединяют к источнику тока, а зажимы вторичной цепи подключают на соответствующие мощности преобразователя сопротивления. Для контроля вторичного напряжения включается вольтметр, а если нагрузочное сопротивление переменное, то для измерения тока включается амперметр (при постоянном нагрузочном сопротивлении величина тока определяется по сопротивлению и напряжению). Нагрузочное сопротивление выбирается, исходя из номинальных значений вторичного напряжения и тока преобразователя.

Для проверки к. п. д. преобразователя в первичную цепь также включают амперметр и вольтметр и по показаниям четырех приборов рассчитывают к. п. д. (в процентах) по формуле

$$\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \cdot 100, \quad (9\text{-}10)$$

где U_2 и I_2 — напряжение и ток вторичной,
а U_1 и I_1 — напряжение и ток первичной цепи.

Испытание твердых выпрямителей. Купроксные и селеновые столбики и шайбы, а также германиевые и кремниевые силовые диоды проще всего можно проверить измерением их прямого и обратного сопротивления омметром, но напряжение питающего омметр источника тока не должно превышать максимально допустимое обратное напряжение для испытываемых выпрямителей (для купроксной шайбы 8—15 *в*, для селеновой шайбы 20—40 *в*, а для германиевых и кремниевых диодов в зависимости от типа от 60 до 600 *в*).

Важны не столько абсолютные значения обратного и прямого сопротивлений, сколько их отношение $R_{обр}/R_{пр}$, которое не должно быть менее 100—300: у хороших купроксных и в особенности у селеновых шайб это отношение может быть 5000—10 000.

Если купроксные или селеновые шайбы набраны в столбики, то разумней всего проверить сопротивление каждой шайбы в отдельности, так как внутри столбиков могут оказаться неисправные шайбы. При этом надо проследить, не образуют ли отдельные участки столбика параллельных ветвей (если столбик снабжен более чем двумя выводами и между ними имеются перемычки, то на время измерения сопротивления столбиков эти перемычки надо снять).

Однако по одной лишь проверке прямого и обратного сопротивлений нельзя судить о доброкачественности твердых выпрямителей. Для полноты испытания надо проверить их в работе на однополупериодное выпрямление,

причем секционированные столбики, предназначенные для работы по двухполупериодной схеме или по схеме моста, а также столбики с параллельными ветвями освобождают от перемычек и испытывают по секциям (рис. 9-44). В качестве нагрузочного сопротивления включается переменное или специально подобранное постоянное сопротивление R. Необходимое для питания выпрямителя переменное напряжение U при отсутствии конденсатора должно быть взято в 1,5 раза меньше предельно допустимого обратного напряжения. При этом выпрямленное напряжение U_0 должно составлять 0,45 приложенного переменного напряжения. Максимальный выпрямленный ток I_0 в миллиамперах для селеновых и купроксных выпрямителей приближенно определяется в зависимости от диаметра шайб по формуле

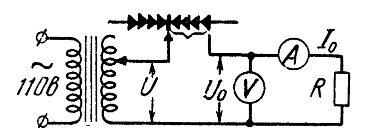


Рис. 9-44. Схема испытания выпрямительного столбика.

$$I_0 = kd^2, \qquad (9\text{-}11)$$

где d — диаметр шайбы, *мм*;

k — коэффициент, зависящий от свойств выпрямителя и его схемы.

В среднем при однополупериодном выпрямлении для купроксных шайб $k = 0{,}1$, а для селеновых $k = 0{,}2$. Тогда необходимое нагрузочное сопротивление при испытании столбиков определяется по формуле

$$R_н = \frac{U_0}{I_0} = \frac{450U}{kd^2}. \qquad (9\text{-}12)$$

Допустимый выпрямленный ток при испытании германиевых и кремниевых силовых диодов следует определять по справочным таблицам.

9-4. Принципы монтажа радиоаппаратуры

Специфической особенностью радиоаппаратуры является наличие в ней цепей с токами повышенных частот и большого усиления. Эти моменты предопределяют возможность появления существенных паразитных связей, не предусматриваемых принципиальной схемой, которые могут приводить к резкому ухудшению работы аппарата.

Правильное грамотное взаимное размещение отдельных каскадов и цепей требует не только хороших знаний, но и известного опыта. Если для монтируемого аппарата имеется опробованная монтажная схема, то рекомендуется вести монтаж в полном соответствии с такой схемой. Это может сэкономить много времени при настройке аппарата.

Если же монтажной схемы нет, то прежде всего, надо руководствоваться соображениями, которые помогут избежать появления паразитных связей.

Предотвращение паразитных наводок. При монтаже радиоприборов следует различать четыре группы электрических цепей: 1) цепи питания постоянным током, 2) цепи питания переменным током частоты электросети (50 или 100 *гц* [1]) при не слишком низком напряжении, 3) цепи звуковой частоты и 4) высокочастотные цепи.

Действие цепей первых двух групп не может быть нарушено какими-либо наводками со стороны других цепей любых групп, ибо наводимые в них потенциалы ничтожно малы в сравнении с действующими.

Тем не менее произвольное расположение и монтаж этих цепей в радиоаппарате может привести к неприятным последствиям, так как они могут явиться переносчиками наведенных сигналов (главным образом высокочастотных) из одних цепей в другие.

Кроме того, цепи питания переменным током могут оказывать влияние на близрасположенные провода звуковой частоты (особенно сеточные), что проявляется в виде слышимого в громкоговорителе фона переменного тока.

Цепи третьей и четвертой групп при малых величинах действующих в них напряжений и токов могут воспринимать вредные для их нормальной работы паразитные сигналы со стороны других цепей, а при больших величинах напряжений и токов сами могут создавать наводки в других цепях.

При этом может возникнуть не предусмотренная принципиальной схемой положительная или отрицательная обратная связь. Положительная обратная связь возникает, когда налагающиеся друг на друга переменные токи приблизительно совпадают по фазе; она вызывает сначала повышение усиления, а затем генерацию. Если между налагающимися друг на друга напряжениями сдвиг фаз равен приблизительно 180°, то возникает отрицательная обратная связь и как следствие ее — уменьшение усиления.

Чем больше каскадов усиления включено после того или иного проводника, несущего токи высокой или звуковой частоты, и чем этот проводник длиннее, тем опаснее влияние на него внешних полей. С другой стороны, чем больше каскадов усиления включено до него, тем большее напряжение получается в нем и тем сильнее его излучение. Поэтому, начиная с определенной длины проводника в цепях высокой и низкой частоты, нельзя обойтись без его экранирования.

В каждом каскаде к посторонним полям звуковой и высокой частоты наиболее чувствительны провода, соединенные с управляющей сеткой, анодом и теми из электродов лампы, к которым подводится напряжение звуковой или высокой частоты. К этой же группе проводов относятся отводы катушек и трансформаторов, которые ни непосредственно, ни через конденсатор большой емкости не соединены с землей (корпусом) или проводом минуса анодного напряжения. Все же провода, идущие к источникам питания, относятся к цепям первых двух категорий.

Все провода, несущие токи звуковой и высокой частоты, должны быть как можно короче и прокладывать их надо по возможности прямолинейно. При длине провода больше 40—50 *мм* и если смежные провода идут к каскадам с большой разницей усиления (один—два каскада), необходимо эти провода экранировать.

Характер экранирования определяется частотой проходящего по проводам тока и внутренним сопротивлением его источника (внутренним сопротивлением лампы, сопротивлением колебательного контура и т. п.).

Дело в том, что всякая экранировка увеличивает емкость экранируемых проводов и вносит потери, особенно ощутимые на высоких частотах. Поэтому при экранировании высокочастотных цепей следует применять экранированные провода с минимальной емкостью и малым объемом диэлектрика (наилучшая изоляция — воздух).

Экранированные провода с незначительной собственной емкостью имеют металлическую броню относительно большого диаметра (примерно 6—10 *мм*) и тонкую (0,3—0,1 *мм*) проволочную жилу (рис. 9-45, *а*). Чем толще проволочная жила, тем больше должен быть диаметр экранирующей оболочки, чтобы получалась та же емкость. Провода с токами звуковой частоты менее требовательны к качеству экранирования (рис. 9-45, *б*), так как собственная емкость провода начинает сказываться на низких частотах лишь при значительной протяженности его.

В усилителях с широкой полосой частот экранирование с большой емкостью искажает частотную характеристику, срезая высшие частоты. Поэтому и здесь приходится применять укороченные соединения высокочастотным экранированным проводом.

[1] Частота 100 *гц* получается при двухполупериодном выпрямлении обычного переменного тока электросети, характеризуя переменную составляющую выпрямленного тока.

Все экранирующие оболочки должны быть эффективно заземлены, так как иначе они совершенно не достигают своей цели. Места их заземлений должны быть тщательно продуманы или подобраны экспериментально.

Провода питания постоянным током и переменным током низкого напряжения (для нитей накала ламп сетевых приемников) можно объединять в жгуты. В эти жгуты можно также вплетать и экранированные провода с токами звуковой частоты, но нельзя вплетать провода,

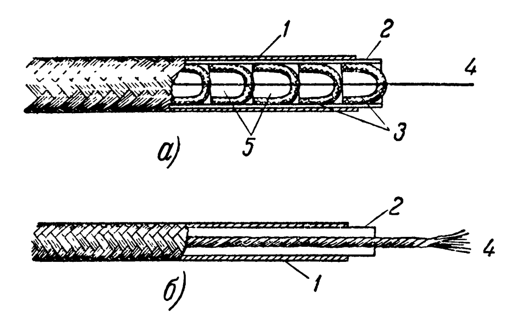


Рис. 9-45. Экранированные провода.

а—высокочастотные; *б*—низкочастотные (*1*—броня, *2* —изоляционная трубка; *3* — изолирующие втулки; *4* — проводник; *5* — воздух).

входящие в колебательный контур и несущие высокочастотные токи, даже если они экранированы. Провода цепи накала при последовательном соединении нитей накала, как и вообще провода, находящиеся под значительными сетевыми переменными напряжениями, следует прокладывать на максимальном расстоянии от всех чувствительных к звуковой частоте деталей и вплетать их в жгуты проводов питания не следует.

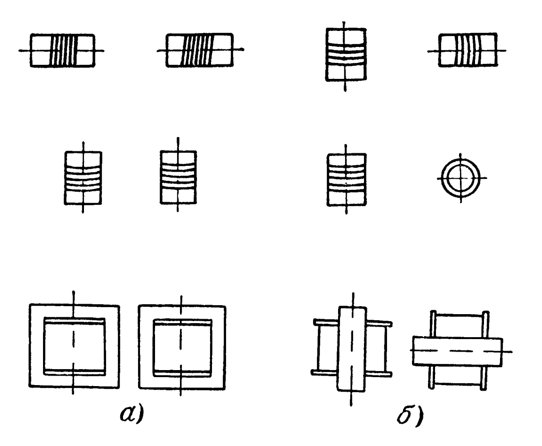


Рис. 9-46. Взаимные расположения катушек и трансформаторов, предрасполагающие к возникновению паразитных связей (*а*) и содействующие ослаблению их (*б*).

Источниками сильных полей являются катушки, дроссели и трансформаторы, особенно имеющие незамкнутые сердечники или сердечники с воздушным зазором. Эти же элементы одновременно являются наиболее чувствительными к посторонним магнитным полям.

Переносчиком низкочастотного магнитного поля может являться стальное шасси приемника или усилителя.

Наиболее опасны связи между различными катушками и трансформаторами, работающими в одинаковых полосах частот, например, между силовым трансформатором и микрофонным трансформатором, между катушками первого и последнего контуров усилителя промежуточной частоты. Однако при достаточно сильных полях может оказаться вредным и воздействие, например, силового трансформатора на ферритовый сердечник высокочастотной катушки, причем может появиться модуляция принимаемого сигнала фоном переменного тока.

Средствами предотвращения паразитных связей через магнитные поля являются взаимное удаление катушек и трансформаторов, связь между которыми опасна, правильная взаимная ориентация их осей и экранирование.

При равном расстоянии между двумя катушками связь между ними максимальная, если они расположены соосно, и минимальна, если оси их перпендикулярны (рис. 9-46).

Эффективная экранировка магнитных полей достигается применением сплошных экранов без щелей и отверстий. Особенно ухудшают эффективность экранов вырезы, прерывающие линии индуктированных в них токов, т. е. идущие вдоль магнитных линий поля.

Для экранирования высокочастотных магнитных полей применяют материалы с высокой электропроводностью (алюминий, медь), а для низкочастотных полей применяют ферромагнитные материалы (мягкую сталь, листовую электротехническую сталь, пермаллой). В наиболее ответственных случаях прибегают к двойной и тройной экранировке (например, при экранировке микрофонных трансформаторов).

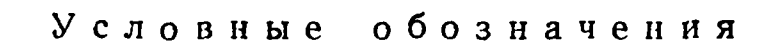
Можно экранировать как катушку или трансформатор, создающие сильное поле, так и катушку или трансформатор, которые надо защитить от воздействия этого поля. Наилучшие результаты дает одновременно экранирование излучающего и воспринимающего элементов.

Рис. 9-47 иллюстрирует высказанные выше положения на примере двух конкретных схем приемников.

Предотвращение паразитных связей через общие участки цепей. Отличный от наводок механизм паразитных связей может возникнуть в радиоаппарате из-за прохождения по одним и тем же цепям токов различных каскадов. Такими общими цепями обычно являются цепи питания и провода заземления (корпус шасси, общий провод). Паразитная связь в этих случаях тем сильнее и опаснее, чем больше полное сопротивление для токов данной частоты общего участка цепи и чем больше усиление между каскадами, токи которых проходят через этот общий участок.

Предотвращение паразитных связей через цепи общего источника питания достигается схемными методами: введением развязывающих RC или LC фильтров (рис. 9-48). При этом однако не надо забывать о том, что сопротивление переменным токам развязывающего конденсатора и проводов, которыми он соединяется со схемой, не равно нулю и может сохранить паразитную связь, если развязка общая для двух—трех каскадов, или если точка заземления конденсатора выбрана неудачно, так что по заземляющему проводу проходят токи разных каскадов.

Для эффективной развязки в каскадах усиления низкой частоты обычно достаточно лишь правильно выбрать величины R и C. Однако при большом усилении во входных низкочастотных каскадах неудачно выбранные места заземления могут явиться источниками проникновения фона, обусловленного токами, наводимыми в шасси полем силового трансформатора, или падениями напряжения по цепям накала ламп. В связи с этим в частности питание нитей накала переменным током лучше всего производить с помощью двух самостоятельных проводов, один из которых только в одной точке соединяется с шасси. В высокочастотных же каскадах существенную роль могут играть также тип конденсатора (паразитная индуктивность) и длина соединительных проводов.

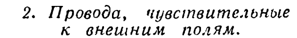


Условные обозначения

1. *Провода, не чувствительные к посторонним полям и сами не излучающие:*

□ — высокой частоты (при отсутствии непосредственного соединения с корпусом — соединяются с ним через конденсатор емкостью от 5 000 *пф* до 0,1 *мкф*);

■ — низкой частоты (заземляющий конденсатор емкостью 0,1—50 *мкф*).



2. *Провода, чувствительные к внешним полям.*

— высокой частоты (в порядке уменьшения чувствительности);

 — промежуточной частоты;

 — низкой частоты.

3. *Провода, создающие поля:*

 — высокой частоты (в порядке ослабления излучения);

 — промежуточной частоты;

 — низкой частоты;

 — высокой частоты, при тех или иных особенностях схемы.

Рис. 9-47. К вопросу о паразитных связях в радиоприемнике.

а — приемник прямого усиления (*1* — наиболее опасная высокочастотная обратная связь; *2* — наиболее опасная низкочастотная паразитная связь, *А* — высокочастотная часть при отсутствии обратной связи в детекторном каскаде, *Б* — при регенеративном детекторе, *В* — низкочастотная часть приемника); *б* — высокочастотная часть супергетеродина.

В общем случае конденсатор развязывающего фильтра следует располагать в непосредственной близости к тому каскаду, цепь питания которого он развязывает.

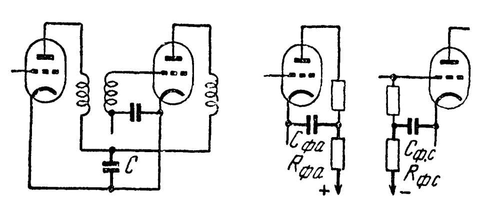


Рис. 9-48. Устранение паразитной связи через общий источник питания.

В каскадах высокой и промежуточной частоты $R_{ф.\,а} = 1 \div 10$ *ком*, $R_{ф.\,с} = 0{,}1 \div 0{,}5$ *Мом*; $C_{ф.\,а} = 0{,}01 \div 0{,}1$ *мкф*, $C_{ф.\,с} = 0{,}005 \div 0{,}1$ *мкф*. В каскадах низкой частоты. $R_{ф.\,а} = 20 \div 100$ *ком*; $R_{ф.\,с} = 0{,}2 \div 1$ *Мом*; $C_{ф.\,а} = 0{,}1 \div 10$ *мкф*, $C_{ф.\,с} = 0{,}5 \div 50$ *мкф*.

В высокочастотных каскадах заземляющий провод надо рассматривать как часть колебательного контура. Если он явится общим для нескольких контуров, то индуктивность, присущая даже прямым проводам, вызовет в нем общее падение напряжения и, следовательно, создаст увеличивающуюся с частотой связь (часто нежелательную), которую с трудом можно обнаружить.

Единственно правильное решение — это свести все заземляющие соединения, принадлежащие одному контуру и одному каскаду усиления (если даже соединение с землей производится через конденсаторы, как на рис. 9-49), в одну точку на катоде соответственной лампы. Для звуковой и высокой частоты катод образует нулевую точку каждого усилительного каскада и он всегда должен быть соединен непосредственно или, если это невозможно из-за находящихся в цепи катода сопротивлений, через конденсатор с шасси. Исключение составляют только

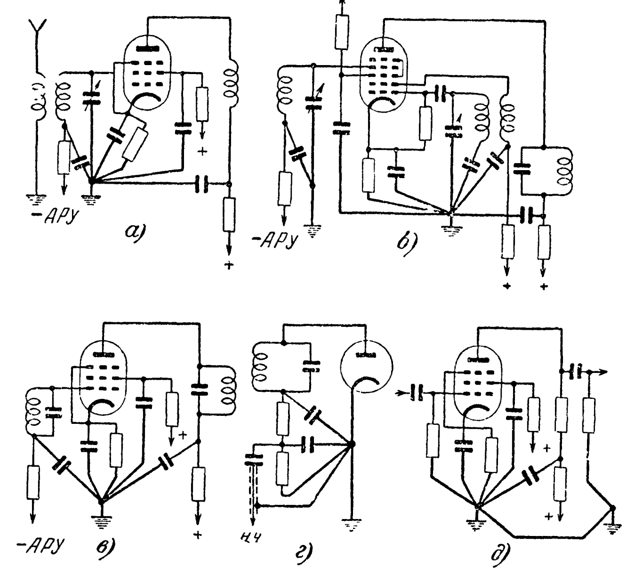


Рис. 9-49. Соединение проводов, подлежащих заземлению, в одной точке.

а — усилитель высокой частоты; *б* — преобразователь частоты; *в* — усилитель промежуточной частоты; *г* — диодный детектор, *д* — усилитель низкой частоты.

схемы с отрицательной обратной связью, напряжение которой выделяется в цепи катода, генераторы с катушкой

обратной связи в цепи катода и усилители с катодным выходом.

Если шасси изготовлено из изоляционного материала, то точки заземления различных каскадов должны быть соединены между собой и с гнездом заземления одним достаточно толстого диаметра (0,5—1,5 *мм*) проводом, по возможности прямым и коротким.

Заземление высокочастотных каскадов с контурами, настраивающимися конденсаторами переменной емкости, лучше всего производить в точке заземления ротора конденсатора. К этой же точке нужно присоединить

При укладке и правке монтажных проводов полезны простые инструменты, представленные на рис. 9-52: прижимка (*а*), крючок (*б*) для вытягивания проводов и угольник (*в*) для укладки нескольких параллельно идущих проводов.

Для осмотра труднодоступных мест монтажа применяют зеркальце и миниатюрную переносную лампочку на длинных ручках (рис. 9-53).

Зачистка и заделка концов монтажных проводов. Удаление внешней изоляции с концов монтажных проводов (хлопчатобумажной оплетки, хлорвиниловой трубки

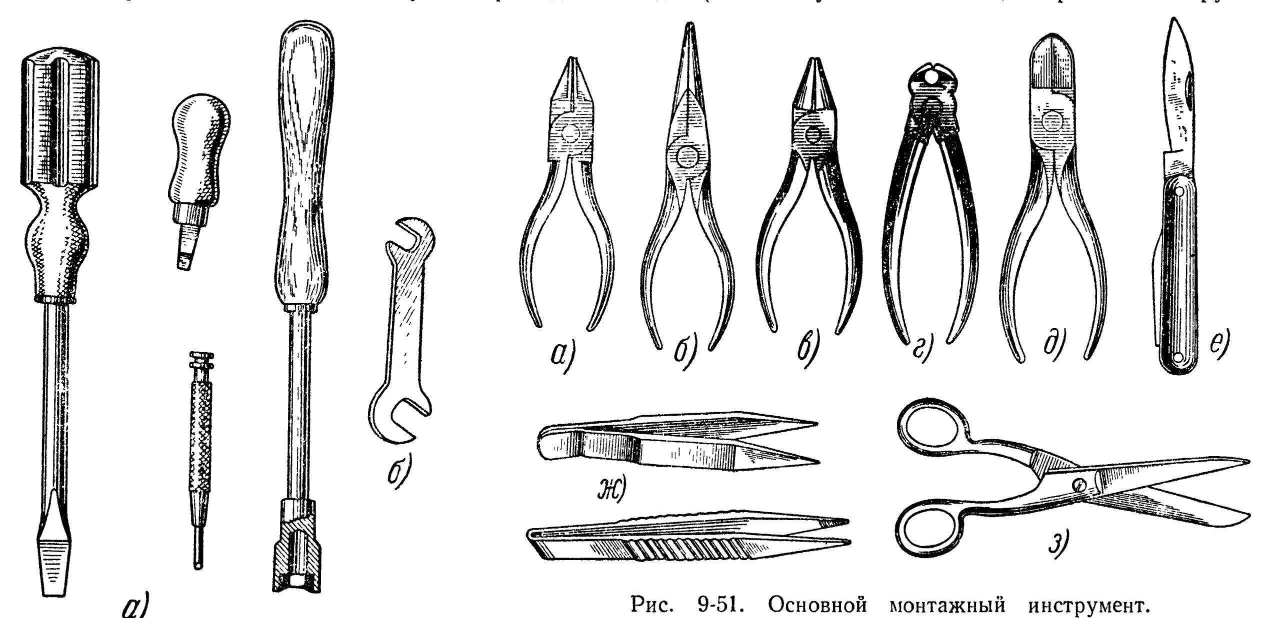


Рис. 9-50. Отвертки (*а*) и гаечные ключи (*б*).

Рис. 9-51. Основной монтажный инструмент.

а — плоскогубцы; *б* — «утиный нос»; *в* — круглогубцы; *г* — кусачки, *д* — бокорезы; *е* — монтерский нож; *ж* — пинцеты; *з* — ножницы.

возможно более коротким и прямым путем соответствующие концы контурных катушек и входящих в контур постоянных и подстроечных конденсаторов.

Некоторые вопросы техники монтажа радиоаппаратуры. *Монтажный инструмент.* Хорошее качество монтажа требует правильного подбора монтажных инструментов и хорошего состояния их. Важнейшие монтажные инструменты, применяемые радиомастерами, показаны на рис. 9-50, 9-51, 9-52 и 9-53.

Отвертки должны быть правильно заточены (рис. 9-54, *б*), иметь закаленные (но не перекаленные!) жала и выбираться по размеру в соответствии с длиной шлица на головке завинчиваемого винта (рис. 9-54, *д*).

Гаечные ключи (рис. 9-50, *б*) применяются для завинчивания и фиксации шестигранных гаек и болтов.

Плоскогубцы (рис. 9-51, *а*) применяются для удерживания и изгибания проводов, выводов деталей при подготовке их к монтажу и во время монтажных операций. Круглогубцы (рис. 9-51, *в*) служат для сгибания проводов и образования колечек при креплении проводов под зажимы, винты.

Порядок образования петли показан на рис. 9-55.

Кусачки (рис. 9-51, *г*) и бокорезы (рис. 9-51, *д*) применяются для откусывания проводов, тонких лепестков.

Монтерский нож (рис. 9-51, *е*) применяют для зачистки проводов.

Пинцеты (рис. 9-51, *ж*) служат для поддержания припаиваемых проводов и мелких деталей.

Ножницы (рис. 9-51, *з*) применяются для обрезки изолирующих оплеток проводов и нарезки тонких листовых материалов (бумаги, лакоткани, фольги, электрокартона).

резины) надо производить очень осторожно, чтобы при этом не повреждались токопроводящие жилы. При известном навыке эту операцию можно удовлетворительно производить при помощи остро заточенного монтерского ножа; лезвия бритвы, ножниц, острых бокорезов. Применяются также специальные щипцы для удаления изоляции (рис. 9-56).

Зачистку проводов с эмалевой изоляцией производят лезвием ножа или бритвы, надфилем или мелкой стеклянной шкуркой.

Во избежание загрязнения зачищаемой поверхности проводов надо избегать непосредственного касания ее пальцами. Скрутку многожильных проводов после их зачистки следует производить через бумажку.

Заделка изоляции у зачищенного конца провода производится после его облуживания. Распространенные способы заделки концов проводов представлены на рис. 9-57. Закрепление концов нитки показано на рис. 9-58.

Заделка концов экранированного провода может осуществляться аналогично с той лишь разницей, что экранирующую оболочку отрезают на большем протяжении, чем внутреннюю изоляцию и снабжают бандажем из голого медного провода, который затем припаивают (рис. 9-59, *а*).

Но можно осуществить и непосредственный вывод конца экранирующей оплетки (рис. 9-59, *б*). Для этого сначала на расстоянии 20—30 *мм* от конца провод изгибают и с внешней стороны изгиба жилки оплетки аккуратно раздвигают с помощью тупой иглы. Затем через образовавшееся отверстие вытягивают конец провода.

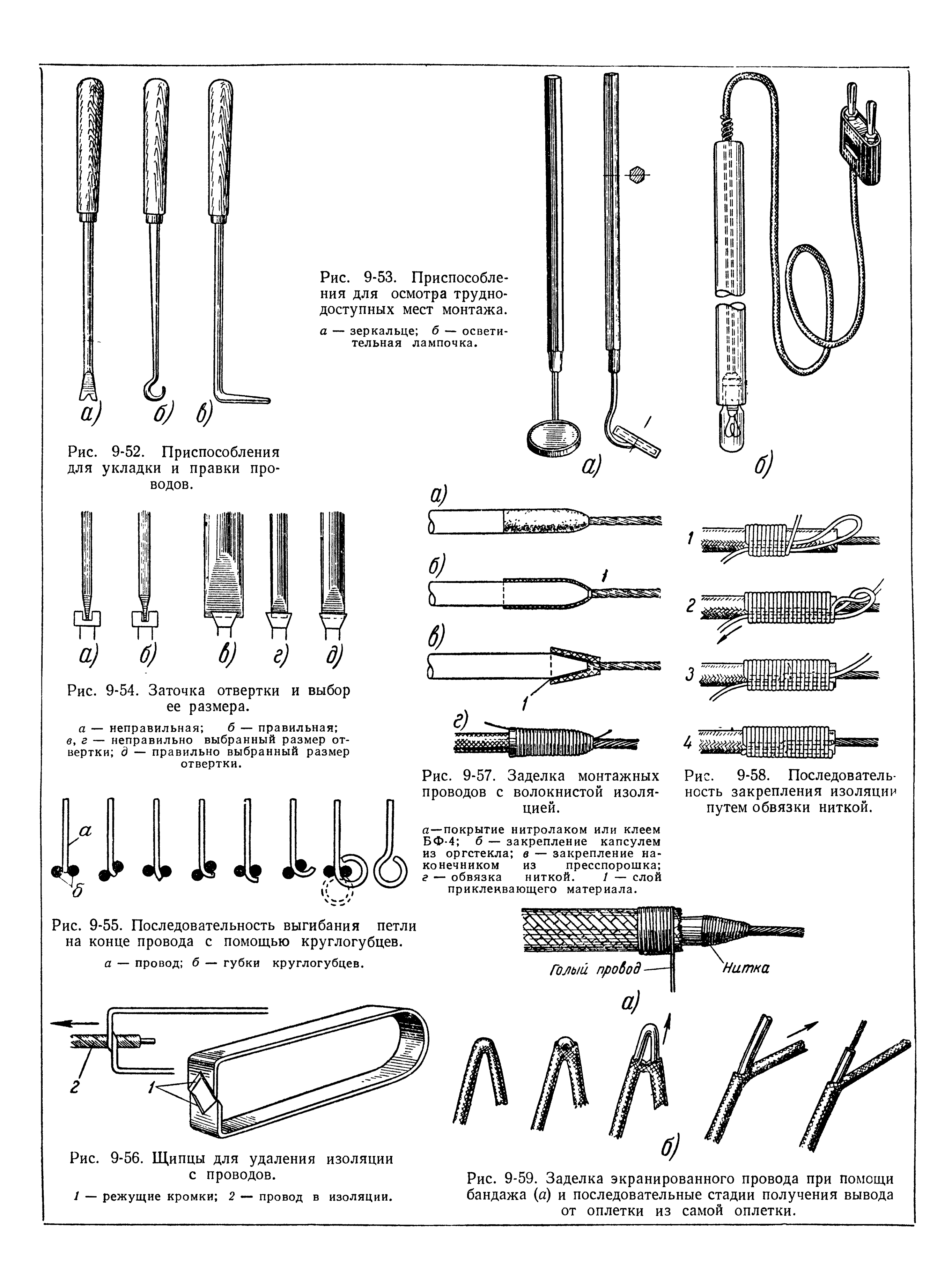


Рис. 9-52. Приспособления для укладки и правки проводов.

Рис. 9-53. Приспособления для осмотра труднодоступных мест монтажа.

а — зеркальце; *б* — осветительная лампочка.

Рис. 9-54. Заточка отвертки и выбор ее размера.

а — неправильная; *б* — правильная; *в, г* — неправильно выбранный размер отвертки; *д* — правильно выбранный размер отвертки.

Рис. 9-55. Последовательность выгибания петли на конце провода с помощью круглогубцев.

а — провод; *б* — губки круглогубцев.

Рис. 9-56. Щипцы для удаления изоляции с проводов.

1 — режущие кромки; *2* — провод в изоляции.

Рис. 9-57. Заделка монтажных проводов с волокнистой изоляцией.

а — покрытие нитролаком или клеем БФ-4; *б* — закрепление капсулем из оргстекла; *в* — закрепление наконечником из пресспорошка; *г* — обвязка ниткой. *1* — слой приклеивающего материала.

Рис. 9-58. Последовательность закрепления изоляции путем обвязки ниткой.

Рис. 9-59. Заделка экранированного провода при помощи бандажа (*а*) и последовательные стадии получения вывода от оплетки из самой оплетки.

Свободный конец оплетки натягивают, причем из него формуется плоская гибкая шинка.

Вязка проводов в жгуты (рис. 9-60) производится при помощи толстых ниток (№ 10). При наличии монтажной схемы жгуты заготовляются предварительно на специальных шаблонах (рис. 9-61). Если монтажная схема не разработана, то предварительно осуществляют монтаж одиночными проводами, располагая их так, чтобы они по мере

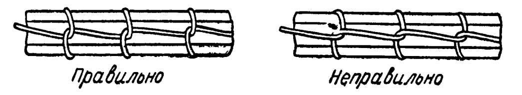


Рис. 9-60. Вязка жгута проводов.

монтажа формировали будущие жгуты. При этом концы проводов, которые войдут в жгут, не запаивают. Затем эти провода прямо в монтаже обвязывают в нескольких местах нитками и вынимают из монтажа, стараясь не деформировать их. После этого производят полную обвязку жгута, вновь укладывают его в аппарат и производят пайку.

Пайка проводов была описана в гл. 6 (стр. 125) и здесь остается лишь указать на некоторые специфические способы соединения проводов при помощи пайки, представленные на рис. 9-62.

Элементы механического монтажа. Наиболее мелкие детали (сопротивления, конденсаторы) часто монтируются без специального закрепления путем впаивания за выводы. Наряду с этим их иногда собирают на групповых монтажных планках, снабженных лепестками или стойками (рис. 9-63).

Для крепления деталей среднего размера (бумажных и электролитических конденсаторов, небольших трансформаторов и т. п.) широко применяются разнообразные крепежные скобки и угольники, изготавливаемые из листовой стали, алюминия, латуни толщиной 0,5—1 *мм* (рис. 9-64). В последнее время крепление таких деталей часто производят путем приклеивания к поверхности шасси клеем БФ (см. стр. 117). Клей БФ также применяют для скрепления половинок чашеобразных сердечников из карбонильного железа.

Крупные тяжелые детали (силовые и выходные трансформаторы, блоки переменных конденсаторов и т. п.) снабжаются готовыми приспособлениями для их механического монтажа.

Для придания жесткости длинным проводам или проводам высокочастотных цепей, стабильность настройки которых требует неизменного положения всех проводников, пользуются опорными лепестками на изолированных стойках (рис. 9-62, *а*), а при проходе провода через металлическое шасси применяют жестко закрепленные изоляционные втулки или накладки (рис. 9-65).

При соединении в одной точке нескольких проводов в этой точке устанавливают изолированный лепесток или на место соединения их надевают спираль из голого луженого провода, пропаиваемую вместе с соединяемыми проводами (рис. 9-62, *б*).

При необходимости удлинить ось переменного сопротивления, переключателя или другого органа управления пользуются средствами, показанными на рис. 9-66.

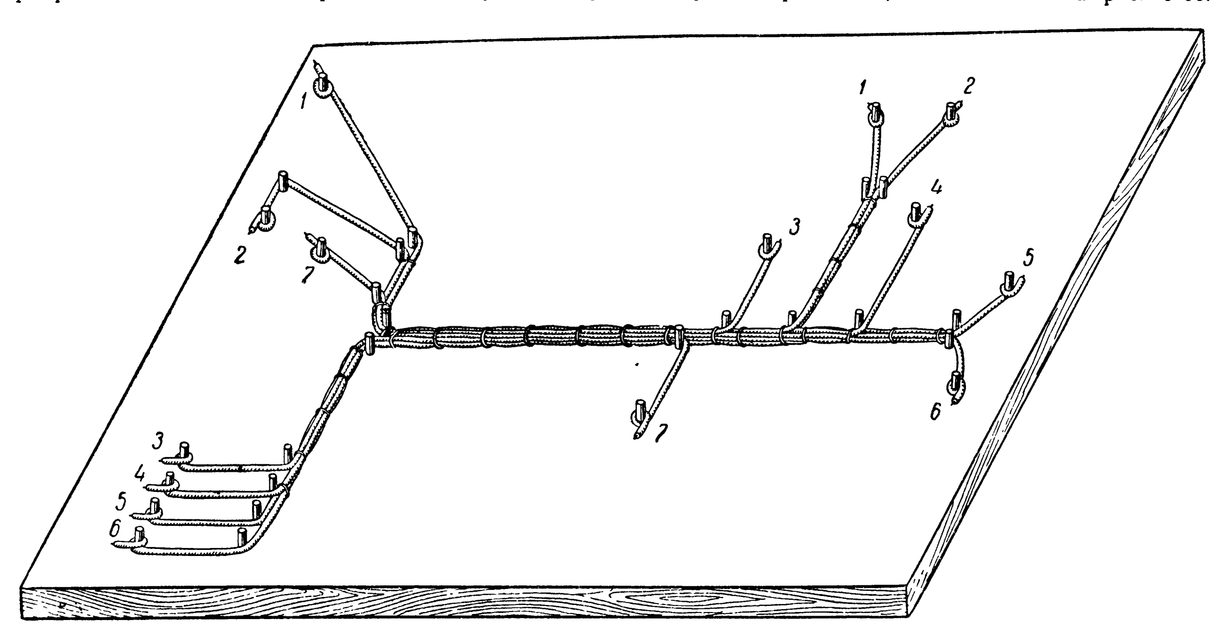


Рис. 9-61. Разложенный и обвязанный жгут из монтажных проводов на шаблоне.

Порядок налаживания вновь смонтированного радиоприбора. По окончании монтажа, ранее, чем включать питание, надо проверить правильность монтажа, закрепление всех деталей и проводов, освободить монтаж от случайно попавших в него обрезков проводов, изоляции и капель припоя. Осмотр монтажа требует большой тщательности. Попадающие иногда на ламповые панельки или монтажные планки капли припоя замыкают накоротко соседние контакты и могут привести к аварии еще неналаженного аппарата при первом же его включении.

После осмотра монтажа и устранения обнаруженных при этом дефектов очень полезно хотя бы с помощью пробника проверить отсутствие короткого замыкания в общей анодной цепи ламп и, убедившись в отсутствии такового, можно включить питание. При этом в цепи питания обязательно должны стоять плавкие предохранители и желательно — амперметр, контролирующий ток питания.

Если потребляемый ток оказывается значительно больше расчетного, то аппарат следует немедленно выключить и признать неисправным. Дальнейшая работа

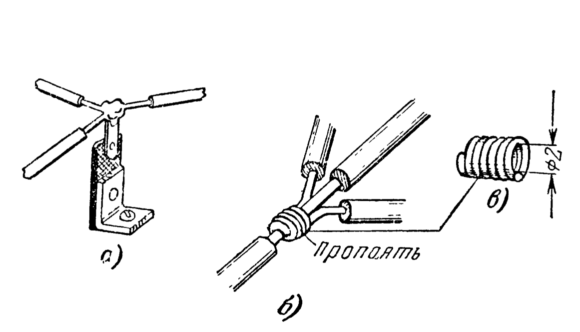
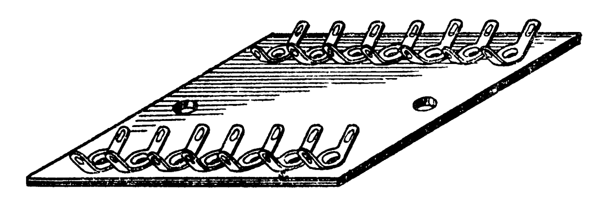


Рис. 9-62. Соединение нескольких проводов в одной точке.

а — на изолированном лепестке; *б* — на проводе при помощи спиральки *в*.



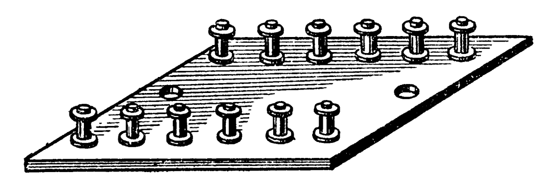


Рис. 9-63. Групповые монтажные планки.

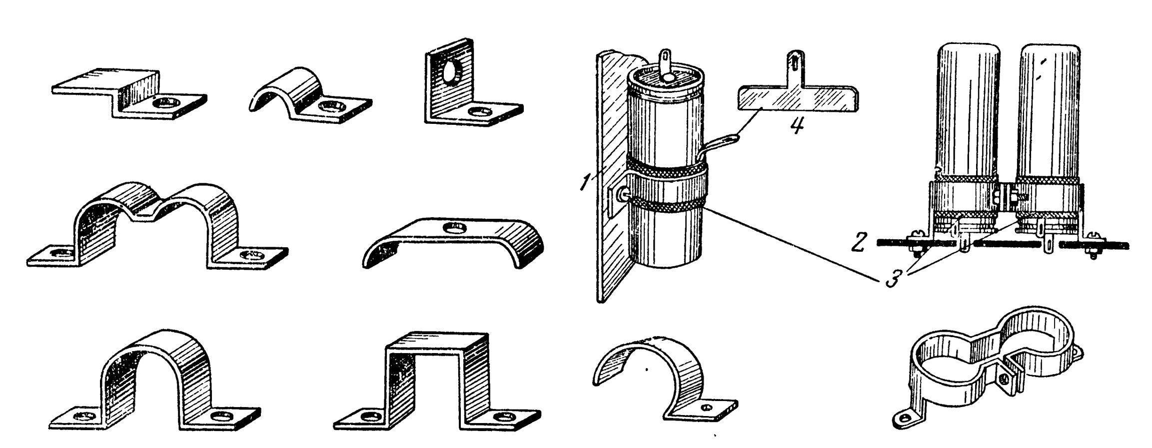


Рис. 9-64. Крепежные скобки, хомутики и угольники и пример применения их для крепления электролитических конденсаторов.

1 — вертикальная панель; *2* — горизонтальная панель; *3* — изолирующие подкладки (электрокартон); *4* — контактный лепесток.

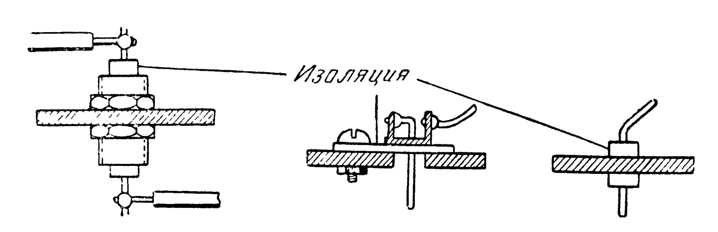


Рис. 9-65. Проход проводов через металлические панели.

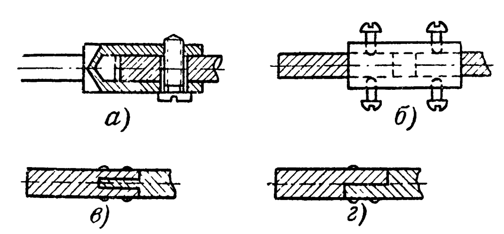


Рис. 9-66. Удлинение осей.

а, б — разъемные соединения; *в* и *г* — соединения на заклепках.

с неисправным аппаратом должна начинаться с отыскания и устранения имеющихся неисправностей. Для этого, помимо полной проверки соответствия монтажа принципиальной схеме, можно пользоваться техникой отыскания неисправностей, изложенной в следующей главе.

Если потребляемый ток не вызывает опасений за исправность аппарата, то очередной работой является налаживание, состоящее в проверке и, если требуется, подгонке режимов питания всех каскадов, а затем — настройке колебательных контуров.

При проведении этих работ, выполнению которых посвящены следующие две главы, могут также обнаружиться неисправности, связанные с ошибками в монтаже, неисправностью или несоответствием отдельных деталей, наличием самовозбуждения. Порядок устранения таких дефектов излагается в гл. 10.

После налаживания аппарата производят испытания его, которые имеют целью определить его технические характеристики. Основные приемы проведения испытаний радиовещательной аппаратуры излагаются в гл. 12.

Для облегчения дальнейшей эксплуатации, ремонта и усовершенствования изготовленного аппарата заключительным этапом изготовления аппарата следует считать составление технической документации, содержащей в себе, как минимум, полную принципиальную схему со спецификацией, соответствующей окончательному (после налаживания) состоянию аппарата, и все результаты сдаточных испытаний с описанием методики их проведения. Весьма полезно также составить карты напряжений или проставить измеренные в различных точках схемы напряжения прямо на принципиальной схеме.

При блочной конструкции аппарата принципиальные схемы составляются на каждый блок и на них обязательно изображаются соединительные элементы (колодки, разъемы) с нумерацией всех зажимов, соответствующей их обозначениям в монтаже.

Затрата труда на составление хорошей документации всегда окупается большой экономией времени при ремонте и усовершенствовании прибора в процессе его эксплуатации.

Для облегчения и улучшения эксплуатации измерительных приборов в техническую документацию на них следует включать инструкции с правилами пользования.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

РЕМОНТ РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Мы не будем останавливаться на сугубо механическом ремонте радиоприемников, таком, например, как замена разбитой шкалы настройки, ремонт переключателей, сломанных гнезд и потенциометров, верньерных механизмов и т. п.

Конкретные приемы проведения таких работ могут содержать много специфических элементов, зависящих от конструкции данного приемника и его узлов. В общем же виде подобные работы либо состоят в замене поломанной детали новой, либо основываются на изложенных в гл. 6 — приемах проведения слесарно-механических работ. Ремонт отдельных деталей (например, катушек и трансформаторов) может производиться в соответствии с указаниями, данными по их изготовлению.

В этой главе мы остановимся в основном на обнаружении и устранении электрических неисправностей.

10-1. Обнаружение неисправностей

Ремонту приемника предшествует более или менее трудоемкая работа по обнаружению его неисправностей. Поэтому ниже излагаются основные правила и порядок систематического исследования приемников. Испытаниям, аналогичным обнаружению дефектов в неисправном радиоаппарате, подвергается и всякий вновь смонтированный аппарат перед первым включением его.

Систематическое обнаружение неисправности состоит в последовательном определении все более ограниченного участка приемника, в котором сосредоточена неисправность. Сначала надо попытаться определить укрупненный блок, содержащий неисправность (выпрямитель, низкочастотная часть и т. д.), затем внутри подозреваемого блока отыскать неисправный каскад, а затем уже в этом каскаде — неисправную деталь.

Такой метод позволяет обнаружить неисправность значительно быстрее, чем беспорядочные проверки тех или иных деталей приемника. Применение этого метода требует не только определенной последовательности испытаний, но и внимательного логического анализа результатов каждого эксперимента, который возможен лишь при четком представлении сначала блок-схемы приемника, а затем и всей принципиальной схемы и функционального взаимодействия всех его элементов.

Внешний осмотр — первое испытание, которому подвергают неисправный приемник и которым никогда не следует пренебрегать. Проверка внешнего состояния приемника, механической исправности его органов управления, указателя шкалы настройки и других индикаторов, состояния шнура для включения питания, гнезд на задней стенке приемника, электропроигрывателя (в радиолах), наличия и целости предохранителей, положения переключателя напряжения сети позволяет часто обнаружить неисправность, из-за которой приемник попадает в радиомастерскую.

При отсутствии явных и грубых неисправностей, выявляющихся при внешнем осмотре аппарата, нужно испытать его в работе, так как этот путь является скорейшим при отыскании неисправностей.

Испытание приемника в работе без измерительных приборов является простейшим предварительным испытанием, в ходе которого часто удается определить неисправный участок. Оно осуществляется путем проверки работоспособности приемника на слух на всех диапазонах принимаемых волн и от гнезд звукоснимателя.

Перед включением под напряжение полезно проверить аппарат на отсутствие в нем короткого замыкания в анодных цепях. Для этого достаточно снять заднюю крышку приемника и отрицательный полюс анодных цепей взять с гнезда заземления, шасси, металлических корпусов деталей или экранов, положительный же полюс можно взять с лепестков выходного или силового трансформатора, электролитических конденсаторов сглаживающего фильтра или панельки кенотрона. Поскольку в этих цепях могут быть применены электролитические конденсаторы, то омметр или пробник надо присоединять, соблюдая полярность анодной цепи. Исследуемый приемник или усилитель можно включить под напряжение, если омметр покажет сопротивление не менее десятков тысяч ом, причем источник питания (или штепсельная розетка) должен быть защищен плавким предохранителем.

Сразу же после включения приемника можно судить об исправности предохранителя и силового трансформатора (по наличию накала лампочек, освещающих шкалу, и накала оптического индикатора настройки) и выпрямителя (по появлению свечения экрана оптического индикатора и легкого фона, создаваемого громкоговорителями).

Если силовая часть действует, то далее надо убедиться в работоспособности низкочастотной части.

Действие низкочастотной части проверяется касанием пальцем незаземленного гнезда звукоснимателя при соот-

ветствующем положении переключателя и полностью введенном регуляторе громкости.

Если усилитель низкой частоты работает, то при этом будет прослушиваться фон переменного тока. В радиолах испытание низкочастотной части может производиться непосредственно при помощи звукоснимателя, причем одновременно проверяется звукосниматель.

Если усилитель промежуточной частоты работает, а также действует гетеродин, то переключение диапазонов у большинства приемников сопровождается ясно слышимыми через громкоговорители щелчками.

водника к антенному гнезду (при этом щелчок должен быть значительно громче, чем при присоединении того же проводника к гнезду заземления). Такая проверка позволяет выявить неисправности гетеродина или усилителя высокой частоты (в том числе УКВ блока) на отдельных диапазонах.

Появление сильных тресков при вращении ручки настройки на одних и тех же участках шкалы при включении различных диапазонов волн (кроме УКВ) свидетельствует о нестационарных замыканиях в блоке конденсаторов переменной емкости.

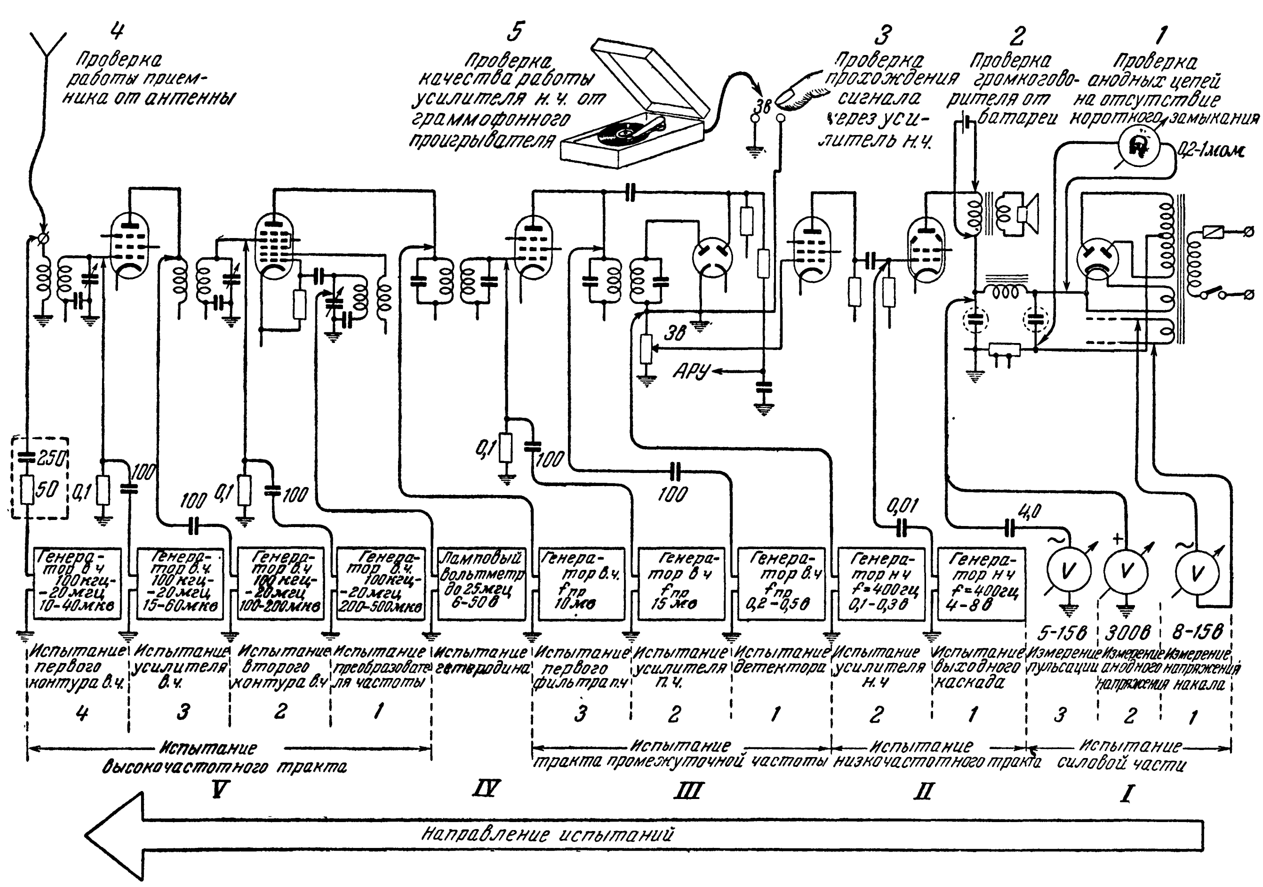


Рис. 10-1. Порядок проверки работы радиоприемника.

Указанные величины напряжений, подводимых от генераторов, соответствуют получению 30% выходной мощности. Для выявления неисправного каскада испытания I-3, II-2, III-1, III-3, V-1, V-2 и V-3 можно не производить. При покаскадной проверке приемника полезно включить на выход усилителя низкой частоты вольтметр переменного тока (через конденсатор емкостью 0,1—2 *мкф* в зависимости от сопротивления вольтметра). Измеренное напряжение пульсации (испытание I-3) не должно составлять не более 0,2—0,5% от полного анодного напряжения. Если при проверке анодных цепей (проверка 1) омметр покажет сопротивление не менее 20 *ком*, то можно включать питание.

Проверка работоспособности приемника с встроенной ферритовой антенной в диапазонах длинных и средних волн осуществляется настройкой на местные радиовещательные станции. Наличие внутренней УКВ антенны позволяет аналогично проверить работу УКВ блока.

При отсутствии внутренних антенн, а также на коротковолновых диапазонах работоспособность приемников можно оценивать, подключая в гнездо антенны небольшой (0,2—1 *м*) кусок провода или прикасаясь к гнезду антенны пальцем (с помощью неизолированного штырька, металлической отвертки).

Даже в отсутствии радиопередач о прохождении сигнала с гнезда антенны можно судить по громкому щелчку, сопровождающему момент присоединения про-

Трески или громкие шорохи при вращении регулятора громкости (даже в положении переключателя «звукосниматель») говорят о неисправности (плохом контакте, протертой подковке) потенциометра регулировки громкости.

При наличии сильных искажений можно также определить ту часть приемника, в которой они возникают. Сохранение искажений при воспроизведении грамзаписи указывает на неисправность в низкочастотной части. Наличие искажений только при приеме свидетельствует о неисправности в высокочастотной части (включая детектор).

Часто без вскрытия приемника и без применения измерительных приборов только внимательным наблюдением

за работой приемника при различных установках его органов управления можно распознать многие виды самовозбуждения и определить цепи, охваченные им. Подробнее об определении самовозбуждения говорится ниже.

Сняв заднюю крышку приемника, по отсутствию накала у отдельных ламп (у сдвоенных ламп должны светиться два катода) можно сразу обнаружить перегоревшую лампу.

Основные этапы предварительной проверки приемника схематически представлены на рис. 10-1 сверху.

Успешная диагностика неисправностей приемника по прослушиванию его работы без применения приборов требует определенного опыта.

Если таким методом установить неисправность не удалось, то следует перейти к систематической проверке при помощи измерительных приборов.

Покаскадная проверка прохождения сигнала требует снятия задней и обычной нижней крышек приемника.

Если приемник после включения совсем молчит, то предварительно следует убедиться в исправности громкоговорителя и выходного трансформатора. Для этого при выключенном питании достаточно сигнал от трансляционной сети подать на первичную обмотку выходного трансформатора. В отсутствии подводки трансляционной сети можно воспользоваться батарейкой от карманного фонаря или пробником (в моменты подключения и отключения должны быть слышны щелчки).

При исправных громкоговорителях и выходном трансформаторе включают питание и первым делом проверяют силовую часть.

Проверка силовой части состоит в измерении напряжения накала ламп, выпрямленного анодного напряжения (оно обычно составляет 200—250 *в*) и, если слышен сильный фон переменного тока, — в измерении напряжения пульсаций на выходе фильтра выпрямителя. Необходимые для этих измерений приборы и способы подключения их указаны на рис. 10-1 снизу.

Типичные неисправности силовой части сводятся к следующему.

1. Отсутствуют анодное и накальное напряжения из-за неисправности предохранителя, выключателя или переключателя сетевого напряжения, а также из-за обрыва в цепи первичной обмотки силового трансформатора. В приемниках универсального питания это может быть из-за перегорания нити накала любой лампы или из-за обрыва в цепи накала (например, при отсутствии контакта в ламповых панельках).

2. Напряжение накала понижено или повышено из-за неправильной установки переключателя сетевого напряжения или в результате замыкания части витков в трансформаторе.

3. Отсутствует анодное напряжение по причине выхода из строя вентиля, конденсатора сглаживающего фильтра или конденсатора, блокирующего высоковольтную обмотку силового трансформатора.

4. Анодное напряжение понижено из-за потери эмиссии кенотроном, или неисправности селенового столбика или германиевых диодов, большой утечки у сглаживающих пульсацию конденсаторов и неисправности высоковольтной обмотки силового трансформатора.

5. Большая пульсация выпрямленного напряжения из-за неисправности конденсаторов сглаживающего фильтра.

Более сложные неисправности в силовой части приемника встречаются редко и в таких случаях нужно подвергнуть все детали выпрямителя полным испытаниям, которые были описаны в гл. 9.

Покаскадную проверку приемника при полном его бездействии или при недостаточной отдаваемой им мощности начинают с оконечного каскада усилителя низкой частоты, для чего подают на сетку оконечной лампы напряжение порядка нескольких вольт от генератора низкой частоты (400—1000 *гц*).

Подобным же образом, но только меньшими напряжениями испытывают входные каскады низкочастотной части приемника.

Всякий раз при переходе к предыдущему каскаду для достижения прежней громкости на выходе подаваемое от генератора напряжение должно уменьшаться в 10—100 раз. Если при переходе к какому-нибудь предыдущему каскаду напряжение генератора приходится увеличивать, то это говорит о неисправности этого каскада.

Приближение к неисправному месту в каскадах промежуточной и высокой частоты начинают тоже в направлении от конца к началу, т. е. от детектора к антенне. При этом пользуются генератором модулированного высокочастотного сигнала, частоту его устанавливают в соответствии с собственной частотой колебательных контуров промежуточной и высокой частоты и напряжение от генератора подводят к сеткам соответствующих ламп. Прекращение прохождения сигнала или отсутствие усиления какого-либо каскада и определяет участок схемы или каскад, в которых нужно искать повреждение.

Наиболее распространенными причинами появления искажений являются неисправность громкоговорителя, замыкание части витков первичной обмотки выходного трансформатора, выделение газа в оконечной лампе (в стеклянном баллоне при этом видно яркое голубое свечение), неподходящее напряжение сеточного смещения или обрыв в сеточной цепи одной из ламп усилителя низкой частоты и перегрузка этого усилителя из-за плохой работы системы АРУ. Путем поочередного испытания громкоговорителя, оконечной лампы предварительных каскадов усиления низкой частоты (от звукового генератора) и затем всего усилителя низкой частоты (от проигрывателя), а также каскадов усиления промежуточной частоты, преобразователя, усилителя высокой частоты и входных антенных цепей (от модулированного сигнал-генератора) определяют вносящий искажения каскад.

Неисправность высокочастотных генераторов (в том числе гетеродинов приемников) определяется измерением ламповым вольтметром или электронно-оптическим индикатором амплитуды генерируемых ими колебаний на всех участках всех диапазонов.

Определив неисправный каскад, нетрудно уже обнаружить и неисправную деталь в нем.

Проверку ЧМ канала в приемниках, снабженных УКВ диапазоном, проводят аналогичным методом, но с помощью генератора сигналов, модулированных по частоте. При этом УКВ блок вскрывать не следует. Для выявления неисправного узла приемника в диапазоне УКВ достаточно проверить прохождение сигнала в каскадах промежуточной частоты, а затем прямо со входа УКВ блока.

В основе дальнейших испытаний, имеющих целью выявление неисправной детали, лежат два метода: измерение рабочего режима ламп и исследование каскада на рабочих частотах.

Измерение рабочего режима ламп. Под рабочим режимом лампы понимается совокупность приложенных к ее электродам постоянных напряжений и проходящих в их цепях постоянных токов. Для каждой лампы того или иного каскада конкретного приемника, усилителя или другого аппарата существует определенный оптимальный режим, в расчете на который сконструирован данный аппарат; этот режим оговаривается изготовляющим аппарат заводом.

Для измерения токов в цепях электродов достаточно измерить напряжения на них и подсчитать токи по закону Ома (рис. 10-2).

При пользовании амперметрами в цепях высокой и низкой частоты их надо включать ближе к заземленному

Таблица 10-1

Типовые режимы ламп в радиоприемниках

		Усилители высокой и промежуточной частоты			УКВ блок		Преобразователь частоты АМ канала					напряжение задержки АРУ, в	Предварительный усилитель низкой частоты			Оконечный усилитель низкой частоты		
		напряжение сеточного смещения, в	напряжение на экранирующей сетке, в	напряжение на аноде, в	напряжение сеточного смещения, в	напряжение на аноде, в	напряжение на управляющей сетке, в	напряжение на экранирующей сетке, в	напряжение на аноде, в	напряжение на сетке гетеродина, в	напряжение на аноде гетеродина, в		напряжение сеточного смещения, в	напряжение на экранирующей сетке, в	напряжение на аноде, в	напряжение сеточного смещения, в	напряжение на экранирующей сетке, в	напряжение на аноде, в
Приемники с питанием от сетки переменного тока	Старые лампы	6К3, 6К7, 6К9С			—		6А7, 6А8					—	6Г2, 6Г7, 6Б8С 6Н8С, 6Н9С, 6Ж8			6Ф6С, 6П3С, 6П6С		
	Пальчиковые лампы	6Ж3П, 6К4П			6Н3П		6А2П, 6И1П					—	6Н2П			6П1П, 6П14П		
		−1 ... −3	90 ... 110	150 ... 250	0[1] ... −2	130 ... 150	−1 ... −3	90 ... 110	150 ... 250	0[1]	100 ... 160	−2 ... −3	−1,5[2] −3 ... −8[3]	20 ... 100	30 ... 150	−12 ... −17[4]	150 ... 260	150 ... 300
Батарейные приемники	Пальчиковые лампы	1К1П, 1К2П			—		1А1П, 1А2П						1Б1П, 1Б2П			2П1П, 2П2П		
		0 ... −1	45 ... 70	45 ... 90	—	—	0 ... −1	45 ... 70	45 ... 90	0[1]	(45 ... 70)[5]	0 ... −1	0 ... −1	15 ... 45	20 ... 70	−3 ... −7	45 ... 90	45 ... 90

[1] Напряжение, создаваемое за счет сеточных токов, не учтено. [2] В первом каскаде усиления низкой частоты. В последующих за первым каскадах усиления низкой частоты. [4] Для лампы 6П14П от — 6 *в*. [5] Функции анода гетеродина выполняет экранирующая сетка.

по переменному току полюсу катушек, трансформаторов сопротивлений и т. д. При измерении постоянного тока амперметры должны блокироваться конденсатором 0,005—0,05 *мкф* в цепях высокой и 0,1—1 *мкф* в цепях звуковой частоты.

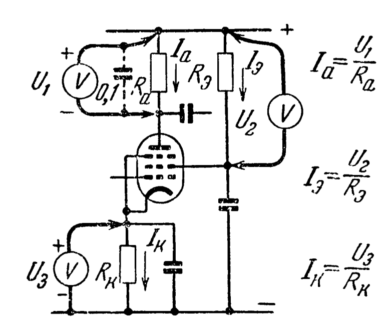


Рис. 10-2. Измерение токов вольтметром.

Чтобы судить об истинных значениях напряжений, измерять напряжения на электродах ламп нужно только относительно катода и обязательно высокоомным вольтметром. Особенно трудно измерение истинных напряжений на управляющих сетках, так как в их цепях обычно включаются сопротивления порядка 1 *Мом.* При наличии таких сопротивлений измерять напряжение на сетке можно только ламповым вольтметром постоянного тока с входным сопротивлением не ниже 10—15 *Мом.* Если же такого вольтметра нет, то приходится довольствоваться измерением напряжения сеточного смещения на том сопротивлении, где оно выделяется (в цепи катода лампы или в цепи общего минуса). Вообще, чем больше сопротивление, на котором надо измерять напряжение, тем больше должно быть внутреннее сопротивление измерительного прибора. Если у вольтметра имеется несколько пределов измерения, то у наибольшего из них и внутреннее сопротивление всегда наибольшее.

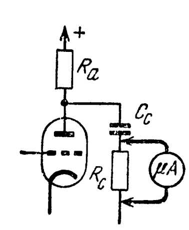


Рис. 10-3. Испытание разделительного конденсатора C_c на утечку.

Типовые оптимальные режимы ламп в приемно-усилительной аппаратуре приведены в табл. 10-1.

Существенные отклонения (более, чем на 10—20%) измеренных напряжений и токов от оговариваемых заводом-изготовителем свидетельствуют о неисправности или соответствующих ламп или других деталей, от которых зависит режим питания ламп (при условии исправности силовой части и номинальном напряжении питающей сети или батарей).

Все лампы, режим которых нарушен, необходимо сразу же проверить. Для этого можно воспользоваться специальным испытателем ламп или другим заведомо исправным приемником, в котором и проверить работоспособность ламп. Если такой возможности нет, то все подозреваемые лампы следует заменить другими, не вызывающими сомнений, и вновь проверить рабочий режим этих каскадов. Сохранение прежних отклонений в рабочем режиме ламп укажет на то, что подозрения с ламп можно снять и надо переходить к выявлению неисправностей в других деталях.

В результате проверки рабочего режима ламп можно быстро установить такие неисправности, как изменение сопротивлений в анодной цепи и цепи экранирующей сетки, изменение сопротивления смещения, пробой конденсатора, блокирующего на землю любой из электродов, обрыв в анодной катушке или дросселе и т. п.

В усилителях низкой частоты при измерении рабочего режима ламп проверяются почти все детали, непроверенными остаются только разделительный конденсатор, связывающий анод предшествующей лампы с управляющей сеткой следующей лампы, сопротивления в цепи управляющей сетки и цепи отрицательной обратной связи, которые можно испытать отдельно при выключенном питании.

Проверить изоляцию разделительного конденсатора C_c при отсутствии мегомметра можно следующим образом (рис. 10-3). Сначала надо вынуть из панельки лампу следующего после него каскада и присоединить параллельно ее сеточному сопротивлению R_c чувствительный микроамперметр (со шкалой до 100 *мка*), а затем включить питание. В первый момент стрелка прибора может слегка отклониться (при зарядке конденсатора), но затем она должна вернуться точно на нуль. Если этого не получается, то конденсатор дает утечку, которая уменьшает отрицательное смещение следующей лампы и искажает ее режим.

Приведенный способ проверки разделительного конденсатора на утечку применим к любому конденсатору, присоединенному одним концом непосредственно или через сопротивление к плюсу высокого напряжения. Для этого микроамперметр (со шкалой до 50—100 *мка*) должен включаться в разрыв одного из подходящих к конденсатору проводов.

Измерение рабочего режима ламп производится не только с целью обнаружения неисправных деталей, но является необходимейшей операцией при испытании вновь смонтированного аппарата. Если при этом получаются отступления от заданного режима более чем на 10—15% и установленные в аппарате лампы не вызывают сомнений относительно их исправности, то путем замены соответствующих сопротивлений необходимо подогнать все напряжения до нормы.

На рис. 10-4 и 10-5 приведены схемы измерения постоянных напряжений и токов в типовом супергетеродине.

Обнаружение неисправностей при подаче сигнала рабочей частоты. Бывают случаи, когда несмотря на правильный режим питания всех ламп, все же приемник работает плохо или даже вовсе молчит. При этом неисправный каскад обычно удается обнаружить описанным выше методом покаскадной проверки прохождения сигнала. Дальнейшее определение характера неисправности в выявленном каскаде, если режим питания лампы не вызывает явных сомнений, осуществляют тщательным исследованием его на рабочих частотах.

Для этого необходим генератор сигналов соответствующей частоты, который присоединяется ко входу исследуемого каскада в соответствии со схемами, изображенными на рис. 10-1. Для независимого исследования любого каскада приемника может оказаться полезным специальный прибор, называемый апериодическим приемником, который позволяет заменить собой все последующие каскады.

Схема простого апериодического приемника, который нетрудно сделать самому, приведена на рис. 10-6. Он состоит из усилителя низкой частоты с собственной силовой частью и громкоговорителем (имеются также гнезда для включения измерительного прибора или телефонов вместо громкоговорителя). Во входной цепи имеется переключатель П, позволяющий добавлять к усилителю низкой частоты вынесенный в высокочастотный пробник диодный детектор, причем образуется схема апериодического приемника, способного детектировать модулированный сигнал любой высокой частоты вплоть до диапазона УКВ.

Присоединяя такое устройство к выходу исследуемого каскада, можно проверять этот каскад независимо

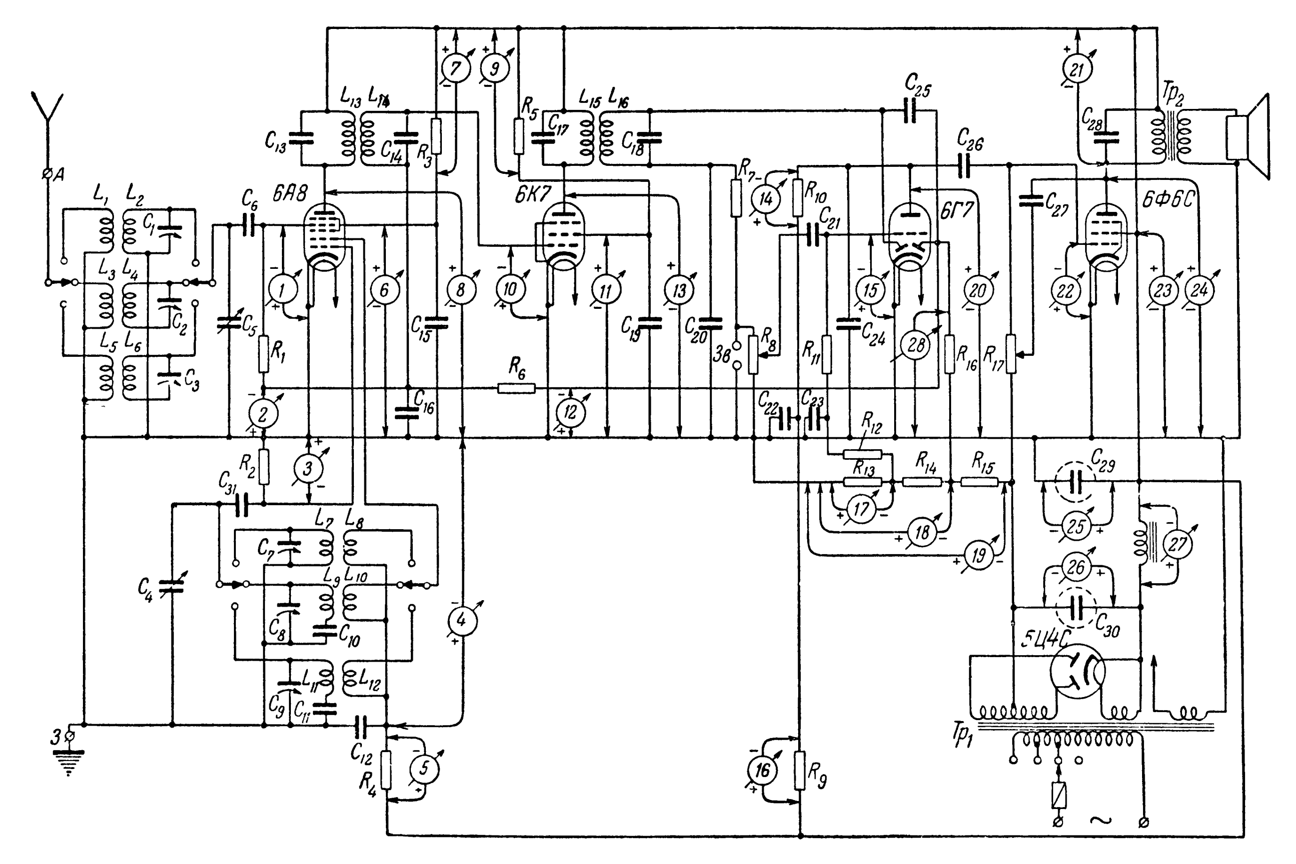


Рис. 10-4. Измерение постоянных напряжений в супергетеродинном приемнике.

1 — на управляющей сетке лампы 6А8 (ламповый вольтметр со шкалой на 10 *в*); *2* — АРУ на управляющих сетках ламп 6А8 и 6К7 (ламповый вольтметр со шкалой на 5—50 *в*); *3*—на гетеродинной сетке лампы 6А8 (ламповый вольтметр со шкалой 5—50 *в*); *4* — на аноде гетеродина лампы 6А8 (вольтметр с сопротивлением 3000—5000 *ом/в* и шкалой на 200 *в*); *5* — на сопротивлении в аноде гетеродина лампы 6А8 (вольтметр с сопротивлением 3000—5000 *ом/в* и шкалой на 150 *в*); *6* — на экранирующей сетке лампы 6А8 (вольтметр с сопротивлением 3000—5000 *ом/в* и шкалой на 150 *в*); *7* — на сопротивлении в цепи экранирующей сетки лампы 6А8 (вольтметр с сопротивлением 3000—5000 *ом/в* и шкалой на 200 *в*); *8* — на аноде лампы 6А8 (вольтметр с сопротивлением 1000 *ом/в* и шкалой на 300 *в*); *9* — на сопротивлении в цепи экранирующей сетки лампы 6К7 (вольтметр с сопротивлением 3000—5 000 *ом/в* и шкалой на 200 *в*); *10*—на управляющей сетке лампы 6К7 (ламповый вольтметр со шкалой на 5—50 *в*); *11* — на экранирующей сетке лампы 6К7 (вольтметр с сопротивлением 3000—5000 *ом/в* и шкалой на 200 *в*); *12* — АРУ (ламповый вольтметр со шкалой на 5 — 50 *в*); *13* — на аноде лампы 6К7 (вольтметр с сопротивлением 1000 *ом/в* и шкалой на 300 *в*); *14* — на сопротивлении анодной нагрузки лампы 6Г7 (вольтметр с сопротивлением 15 000—20 000 *ом/в* и шкалой на 300 *в* или ламповый вольтметр постоянного тока со шкалой на 300 *в*); *15* — на сетке лампы 6Г7 (ламповый вольтметр со шкалой на 5—10 *в*); *16* — на развязывающем сопротивлении в аноде лампы 6Г7 (вольтметр с сопротивлением 20 000 *ом/в* и шкалой на 100 *в*); *17* — смещение на сетке лампы 6Г7 (вольтметр с сопротивлением 100—200 *ом/в* и шкалой на 5 *в*); *18* — задержка АРУ (вольтметр с сопротивлением 100—200 *ом/в* и шкалой на 5 *в*); *19* — смещение на сетке лампы 6Ф6С (вольтметр с сопротивлением 100—200 *ом/в* и шкалой на 30—50 *в*); *20* — на аноде лампы 6Г7 (вольтметр с сопротивлением 15 000—20 000 *ом/в* и шкалой на 150 *в*); *21* — на обмотке выходного трансформатора (вольтметр с сопротивлением 100—200 *ом/в* и шкалой на 30 *в*); *22* — на управляющей сетке лампы 6Ф6С (ламповый вольтметр со шкалой на 30 *в*); *23* — на экранирующей сетке лампы 6Ф6С (вольтметр с сопротивлением 1000 *ом/в* и шкалой на 300 *в*); *24* — на аноде лампы 6Ф6С (вольтметр с сопротивлением 1000 *ом/в* и шкалой на 300 *в*); *25* — на втором конденсаторе фильтра (вольтметр с сопротивлением 1000 *ом/в* и шкалой на 300 *в*); *26* — на первом конденсаторе фильтра (вольтметр с сопротивлением 1000 *ом/в* и шкалой на 300 *в*); *27* — на дросселе фильтра (вольтметр с сопротивлением 100—200 *ом/в* и шкалой на 100 *в*); *28* — задержки АРУ на аноде диода лампы 6Г7 (ламповый вольтметр со шкалой на 5 *в*).

от действия следующих каскадов ремонтируемого приемника.

Прослушивая выходной сигнал исследуемого каскада и постукивая небольшим пробковым молоточком по баллону лампы, монтажным проводам, пайкам и другим деталям, можно выявить плохие контакты и шумящие элементы.

Исследуя работу низкочастотных каскадов при изменении частоты генератора сигнала, можно обнаружить частотные искажения.

Сильный спад усиления на низких частотах (ниже 200—500 *гц*) обычно возникает при потере емкости электролитических конденсаторов, блокирующих сопротивление смещения в цепи катода. При этом иногда наблюдается повышенный уровень фона переменного тока. Подъем усиления на нижних частотах и также увеличение фона бывает следствием аналогичного дефекта в конденсаторе анодного RC фильтра.

К сильным частотным искажениям может приводить междувитковое замыкание в обмотках выходного или междулампового трансформатора, а также повреждения в цепях отрицательной обратной связи.

Делая то или иное предположение о характере неисправности, следует тут же проверять его, или подвергая подозреваемую деталь необходимым испытаниям, или временно включая вместо нее другую, безусловно исправную.

Рис. 10-5. Измерение постоянных токов в супергетеродинном приемнике.

1 — в анодной цепи лампы 6А8 (миллиамперметр со шкалой на 5—6 *ма*); *2* — в цепи экранирующей сетки лампы 6А8 (миллиамперметр со шкалой на 5—6 *ма*); *3* — в цепи катода лампы 6А8 (миллиамперметр со шкалой на 15 *ма*); *4* — проверка конденсатора C_{15} на пробой и ток утечки (для проверки на пробой — миллиамперметр со шкалой на 50 *ма*, для проверки утечки — микроамперметр со шкалой на 50 *мка*); *5* — в цепи экранирующей сетки лампы 6К7 (миллиамперметр со шкалой на 3—5 *ма*), *6* — в анодной цепи лампы 6К7 (миллиамперметр со шкалой на 15 *ма*), *7* — в цепи катода лампы 6К7 (миллиамперметр со шкалой на 30 *ма*); *8* — проверка конденсатора C_{19} на пробой и утечку (для проверки на пробой — миллиамперметр со шкалой на 50 *ма*, для проверки на утечку — микроамперметр со шкалой на 50 *мка*); *9* — в анодной цепи лампы 6Г7 (миллиамперметр со шкалой на 1—3 *ма*); *10* — в анодной цепи гетеродина лампы 6А8 (миллиамперметр со шкалой на 5 *ма*); *11* — проверка конденсатора C_{24} на пробой и утечку (для проверки на пробой — миллиамперметр со шкалой на 5—6 *ма*, для проверки на утечку — микроамперметр со шкалой на 50 *мка*); *12* — в цепи катода лампы 6Г7 (миллиамперметр со шкалой на 3—5 *ма*); *13* — в анодной цепи лампы 6Ф6С (миллиамперметр со шкалой на 50—100 *ма*); *14* — в цепи экранирующей сетки лампы 6ФС (миллиамперметр со шкалой на 15 *ма*); *15* — ток, потребляемый лампами приемника от выпрямителя (миллиамперметр со шкалой на 100 *ма*); *16* — в цепи катода лампы 6Ф6С (миллиамперметр со шкалой на 50—100 *ма*); *17* — проверка конденсатора C_{29} на утечку (миллиамперметр со шкалой на 3—5 *ма*); *18* — проверка конденсатора C_{30} на утечку (то же, что и для конденсатора C_{29}). Проверка конденсатора на утечку производится после проверки их на пробой, *19* — измерение сеточного тока гетеродина (миллиамперметр со шкалой на 1 *ма*).

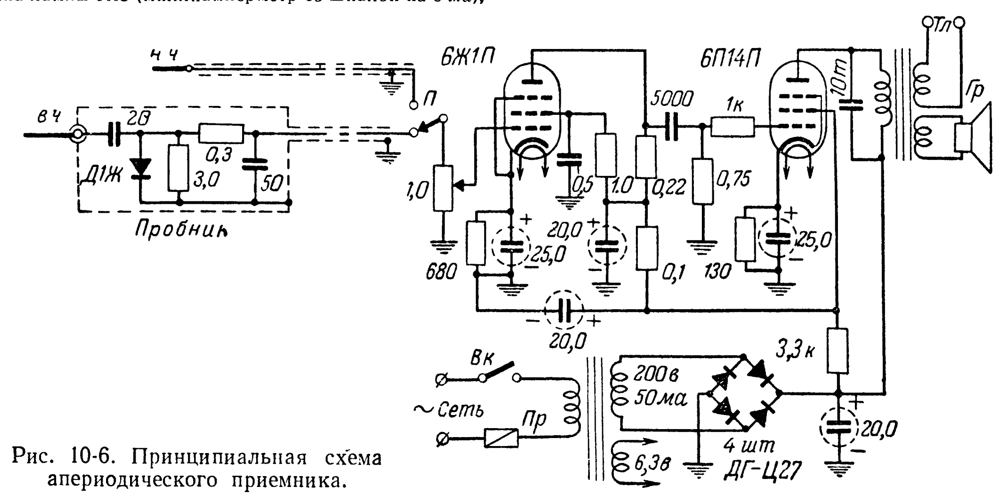


Рис. 10-6. Принципиальная схема апериодического приемника.

При этом узнать, не мала ли емкость электролитического конденсатора можно, просто подключая хороший конденсатор параллельно сомнительному.

При исследовании высокочастотных каскадов и усилителя промежуточной частоты можно также выявить цепи с ненадежными контактами, вызывающими трески или нестабильное усиление. Настраивая генератор по максимальному выходному сигналу (особенно при употреблении упоминавшегося апериодического приемника), можно обнаружить расстройку колебательных контуров или падение их добротности. Однако пользуясь апериодическим приемником, надо помнить, что само подключение его к колебательному контуру вносит в этот контур некоторую расстройку.

О специфических неисправностях высокочастотных каскадов приемников, связанных с дефектами или расстройкой колебательных контуров, более подробно говорится в следующей главе, посвященной настройке колебательных контуров.

10-2. Обнаружение и устранение паразитных связей и самовозбуждения

Наряду с неисправностями деталей в радиоаппаратуре могут наблюдаться повреждения, вызванные наличием паразитных связей, что приводит чаще всего к искажениям, затягиванию [1], свистам, самовозбуждению и появлению фона переменного тока. Устранение этих неисправностей довольно часто представляет большие трудности, и успех дела сплошь и рядом зависит исключительно от опытности радиомастера. Изложенные выше методы систематического отыскания неисправностей в этих случаях применимы лишь отчасти и далеко не всегда дают исчерпывающий ответ о причине неисправности.

Фон переменного тока. Причины, приводящие к появлению фона переменного тока, делятся на три основные группы: 1) попадание по цепям питания переменного тока в каскады низкой частоты, 2) влияние электрического и магнитного полей на низкочастотные цепи, обусловленное неудачным расположением отдельных проводов и деталей, и 3) наложение фона на высокочастотные цепи или модулирующий фон, слышимый только при настройке приемника на радиостанцию.

Наличие постоянно слышимого фона говорит о том, что он накладывается тем или иным путем на низкочастотные цепи приемника. Поэтому прежде всего следует проверить, достаточно ли сглаживается пульсация переменного тока фильтром выпрямителя. Для этого выверенный высоковольтный конденсатор емкостью 40—100 *мкф* присоединяют параллельно сначала ко второму, а потом к первому конденсаторам сглаживающего фильтра ремонтируемого приемника или усилителя (при некоторых схемах выпрямителей присоединение дополнительного конденсатора параллельно второму конденсатору может усилить фон переменного тока, но тогда увеличение емкости первого конденсатора ослабляет его).

Если это дает желаемый эффект, то нужно заменить один или оба конденсатора сглаживающего фильтра или увеличить емкость конденсаторов в анодных или сеточных развязывающих фильтрах.

Если же такое мероприятие не вызывает заметного ослабления фона, то вернее всего имеет место вторая причина. Чтобы быстро обнаружить, в каком низкочастотном каскаде накладывается фон, вынимают одну за одной все лампы, начиная со входной и вплоть до предоконечной, и следят, при вынимании какой из них прекращается фон. Лампы оконечных каскадов при включенном питании вынимать нельзя, так как вызванное этим резкое снижение нагрузки выпрямителя приводит к значительному повышению анодного напряжения, что в свою очередь может вызвать пробой конденсаторов сглаживающего фильтра.

Часто встречающимися причинами фона вследствие наводки являются обрывы экранирующих оболочек, появление утечки между нитью накала и катодом у входной лампы усилителя низкой частоты.

Причиной модулирующего фона также может быть плохое сглаживание пульсации напряжений, питающих высокочастотные лампы. Особенно чувствительны к этому входные каскады приемников (усилитель высокой частоты и преобразователь), а также гетеродин, в связи с чем для питания этих каскадов иногда устраивают дополнительную ячейку сглаживающего фильтра.

Модулирующий фон переменного тока, прослушиваемый только при приеме местных станций, легко устраняется блокированием анода кенотрона на его катод или на землю (рис. 10-7), а также блокированием плеч повышающей обмотки трансформатора конденсаторами *C* емкостью 0,005—0,01 *мкф*; рабочее напряжение этих конденсаторов должно быть не меньше утроенного напряжения плеча повышающей обмотки силового трансформатора (1000—1500 *в*).

Прежде, чем устранять фон, появляющийся при приеме радиостанций, надо убедиться, что модуляция фоном происходит в приемнике, а не на передатчике. Наилучшим средством является сопоставление приема той же радиостанции с помощью другого приемника.

Особо надо отметить способы устранения фона в аппаратуре с лампами прямого накала при питании их нитей переменным током. Тут необходимо точное симметрирование цепи накала, что не всегда обеспечивается устройством отвода средней точки накальной обмотки. Более эффективной мерой является включение между выводами нити низкоомного потенциометра, ползунок которого нужно рассматривать как вывод от катода лампы. Точное симметрирование нити осуществляется при включенном питании на слух установкой движка потенциометра в положение, при котором меньше всего слышен фон переменного тока.

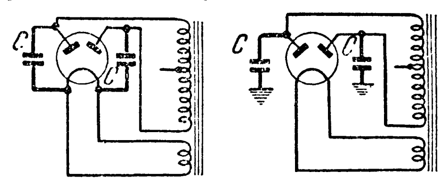


Рис. 10-7. Устранение модулирующего фона.

Аналогичное мероприятие позволяет значительно уменьшить фон, проникающий из цепей накала в усилителях низкой частоты с высоким коэффициентом усиления (в магнитофонах, микрофонных усилителях).

Если аппарат смонтирован вновь, то причиной наводки фона может быть неудачное расположение отдельных цепей и трансформаторов. Об этом говорилось в гл. 9.

Паразитное самовозбуждение. Для определения причины самовозбуждения сначала надо внимательно прослушать работу приемника или усилителя при различных установках его органов управления (регуляторов громкости, тембра, настройки). По характеру звуков, вызванных самовозбуждением, и по влиянию, оказываемому различными регуляторами, часто можно определить характер паразитных связей, приведших к самовозбуждению, и его очаг.

[1] Явление затягивания состоит в отклонении частоты колебаний гетеродина от резонансной частоты его колебательного контура, возникающем из-за наличия паразитной связи между входными контурами и цепями гетеродина или из-за влияния режима смесителя (изменяющегося при настройке на мощные передатчики) на режим гетеродина. Затягивание сказывается в непостоянстве градуировки шкалы настройки приемника.

Так, например, звук, напоминающий шум моторной лодки, свидетельствует о самовозбуждении низкочастотного усилителя, вызванном связью его каскадов через общие цепи анодного питания. Для его устранения надо усилить развязку анодных цепей этого усилителя.

Звенящий вой, появляющийся при громком приеме коротковолновых станций и изменяющийся от постукивания по корпусу приемника, свидетельствует об акустическом влиянии громкоговорителя на вибрирующие детали гетеродинного контура. Для борьбы с этим явлением надо обнаружить вибрирующую деталь (последовательным постукиванием резиновым или пробковым молоточком по всем деталям, проводам и лампам в схеме гетеродина)

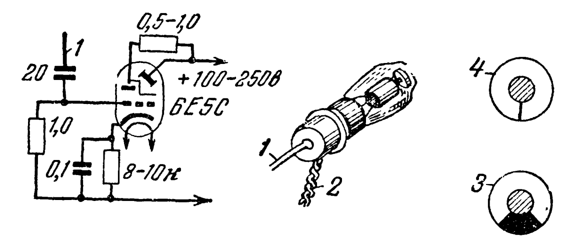


Рис. 10-8. Электронно-оптический индикатор.

1 — короткий щуп; *2* — шланг питания, *3* — колебаний нет; *4* — колебания есть.

и прочнее закрепить или, наоборот, амортизировать вибрирующую деталь. Может также потребоваться замена отдельных деталей (лампы, блока конденсаторов переменной емкости) и амортизация громкоговорителя или шасси.

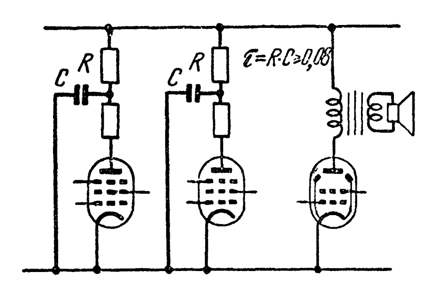


Рис. 10-9. Устранение «моторного» шума.

Сильные свисты, сопровождающие прием каждой станции на всех диапазонах, свидетельствует о самовозбуждении усилителя промежуточной частоты (при этом теневой сектор электронно-оптического индикатора настройки даже при отсутствии приема в большей или меньшей мере сужен).

Для обнаружения очага самовозбуждения пригоден способ поочередной проверки каскадов, изъятием предшествующих очагу самовозбуждения ламп. Если, например, самовозбуждение не прекращается при вынимании любой лампы высокочастотной части приемника вплоть до последнего каскада усиления промежуточной частоты, а при вынимании входной лампы усилителя низкой частоты пропадает, то паразитная связь в этом случае обусловлена воздействием какой-либо цепи на входную цепь низкочастотного усилителя.

Важно выявить не только, на какую цепь действует нежелательное влияние, но и какая цепь производит это влияние. Для этого применим способ изменения реактивности последующих цепей, который заключается в том, что к анодным нагрузочным сопротивлениям ламп, начиная с выхода приемника, присоединяется поочередно конденсатор большей или меньшей емкости, и так постепенно приближаются к очагу самовозбуждения, который обнаруживается по изменению частоты самовозбуждения или по полному его прекращению.

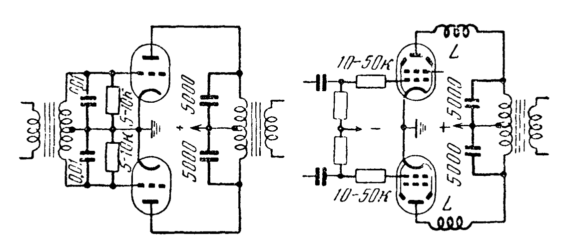


Рис. 10-10. Устранение самовозбуждения в двухтактном каскаде усилителя низкой частоты.

L — 10 ÷ 50 витков реостатной проволоки.

Предположим, что присоединение конденсатора к выходному трансформатору уменьшило только громкость, не изменив характера самовозбуждения. Это значит, что оконечный каскад не охвачен самовозбуждением, и цепь, создающую нежелательное воздействие на вход усилителя, надо искать до него. Но, если, например, при подключении конденсатора параллельно первичной обмотке выходного трансформатора самовозбуждение снимается или изменяется его характер, то или эта цепь, или последующая (цепь вторичной обмотки выходного трансформатора) оказывают влияние на входную цепь усилителя.

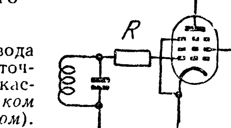


Рис. 10-11. Включение защитного сопротивления.

Сопротивление R надо располагать у ввода сетки (в каскадах высокой и промежуточной частоты R = 300 ÷ 5 000 *ом*, в каскаде низкой частоты R = 10 ÷ 200 *ком* и в каскаде гетеродина R = 100 ÷ 500 *ом*).

Определив, между какими двумя цепями происходит вредное взаимодействие, нетрудно внимательным осмотром их монтажа найти место взаимосвязи и экранированием или частичным изменением монтажа этих цепей устранить самовозбуждение.

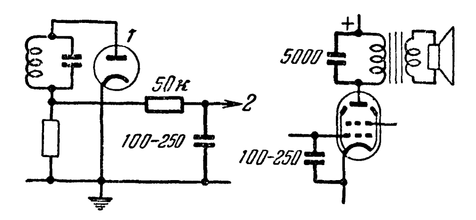


Рис. 10-12. Предотвращение высокочастотной обратной связи от каскада низкой частоты.

1 — детектор; *2* — к усилителю низкой частоты.

Самовозбуждение на высокой частоте далеко не всегда проявляется в виде постоянно слышимого в громкоговорителе постороннего звука, чаще о нем можно судить по наличию громких свистов при настройке на станцию или по характерным искажениям, резкому снижению громкости и другим специфическим особенностям. Обнаружить такое самовозбуждение можно с помощью лампового вольтметра или электронно-оптического индикатора (рис. 10-8), которые присоединяют последовательно ко всем колебательным контурам исследуемых каскадов.

В табл. 10-2 даны сводка наиболее часто встречающихся видов самовозбуждения и меры борьбы с ними, приведенные также и на рис. 10-9—10-12.

Таблица 10-2

Таблица наиболее распространенных видов самовозбуждения и способы их устранения

Неисправность	Важнейшие причины	Устранение
Беспрерывный свист	Самовозбуждение усилителя низкой частоты из-за наличия связи между его выходом и входом	Разнесение входных и выходных цепей, экранирование входных цепей
«Моторный» шум	Связь между низкочастотными каскадами через источник анодного питания	Усиление развязывания анодных цепей усилителя низкой частоты (рис. 10-9)
Сильные искажения при двухтактном усилении низкой частоте	Высокочастотное самовозбуждение усилителя низкой частоты	Применение мер, указанных на рис. 10-10
Сильные свисты при приеме каждой станции	Самовозбуждение усилителя промежуточной частоты или всего приемника из-за связи выхода с цепями высокой частоты	Разнесение взаимодействующих цепей усилителя промежуточной частоты, экранирование сеточных и анодных проводов усилителя, а также применение мер, указанных на рис. 10-11 и 10-12
Сильные свисты и шипение на отдельных диапазонах волн	Паразитная генерация в усилителе высокой частоты, преобразователе или гетеродине	Разнесение взаимодействующих цепей, экранирование их и включение сопротивлений по схеме рис. 10-11
Микрофонный вой	Акустическое влияние громкоговорителя на блок конденсаторов переменной емкости или на другие детали гетеродина, в том числе на лампу	Амортизация вибрирующих деталей и громкоговорителя, замена ламп гетеродина и детектора
«Капающий» звук	Обрыв или чрезмерное сопротивление цепи управляющей сетки одной из ламп	Устранение обрыва, замена испорченных сопротивлений
Беспрерывный вой в батарейном приемнике	Самовозбуждение усилителя низкой частоты из-за истощения анодной батареи	Включение между зажимами батареи конденсатора 2—10 *мкф*, смена батареи

10-3. Общие правила устранения неисправностей

Замечание о порядке устранения дефектов. При устранении неисправностей наряду с выяснением характера самой неисправности всегда следует найти ответ на вопрос: появилась ли данная неисправность в процессе эксплуатации аппарата или была свойственна ему с момента изготовления. Если устраняя «прирожденный» дефект можно принимать меры, затрагивающие принципиальную схему аппарата или связанные с изменением номиналов отдельных деталей, то неисправности, возникшие в процессе эксплуатации, должны устраняться лишь такими способами, которые не ведут к отклонениям от принципиальной схемы. В этом случае, заменяя испорченную деталь новой, следует подбирать деталь того же типа, что и заменяемая, потому что в радиоаппаратуре часто существенную роль играет даже конструкция детали (особенно в высокочастотных цепях).

Отметим в частности, что в современных радиовещательных приемниках, снабженных несколькими громкоговорителями, для обеспечения высокого качества звучания громкоговорители даже в пределах одного типа подбираются с определенными резонансными частотами. Поэтому, например, замена неисправного громкоговорителя новым того же типа, но без учета резонансной частоты данного экземпляра, может приводить к ухудшению акустических характеристик приемника.

Далее, отметим, что современная промышленная технология изготовления радиодеталей, как правило, достаточно сложна и включает в себя многие операции, обычно недоступные в условиях радиоремонтных мастерских, как например, прессование, отжиг в специальных газовых средах, высокотемпературные обработки, пропитка в вакууме, серебрение и т. д. Такие процессы используются для достижения высоких качественных показателей радиодеталей, обеспечивающих стабильную и надежную их работу.

Поэтому испорченные детали в большинстве случаев лучше всего заменять новыми и лишь при простейших легко устранимых дефектах можно рекомендовать ремонт неисправных деталей.

К сильному снижению надежности аппарата приводит ремонт деталей, сопровождающийся вскрытием герметизированных объемов.

Если из-за недостаточного ассортимента запасных деталей приходится применять заменяющую деталь другого типа, то надо убедиться в том, что выбранная деталь соответствует заменяемой по всем параметрам, определяющим ее действие в данной цепи.

Так например, при замене постоянного сопротивления наряду с номиналом надо сохранить допустимую мощность рассеяния. При замене конденсатора постоянной емкости нельзя снижать рабочее напряжение, брать конденсатор с худшим значением $\operatorname{tg} \delta$ и другим ТКЕ (для высокочастотных цепей) с повышенной утечкой (разделительный конденсатор в низкочастотных каскадах).

Одним словом, при таких заменах следует учитывать те же соображения, что и при выборе деталей для вновь монтируемого радиоаппарата (см. гл. 9).

Взаимозаменяемость ламп и полупроводниковых приборов. При отсутствии запасной лампы или полупроводникового прибора вместо неисправного иногда приходится устанавливать прибор другого типа.

В табл. 10-3, 10-4 и 10-5 приведены данные, которыми можно руководствоваться при подобных заменах.

В графе «Эквивалент» указаны типы приборов, которые имеют другую марку, но по всем электрическим характеристикам тождественны заменяемому прибору, в связи с чем их установка не требует каких-либо дополнительных наладочных работ. Следует однако иметь в виду, что в высокочастотных каскадах небольшое отличие в междуэлектродных емкостях может иногда приводить к расстройке колебательных контуров, которую приходится иной раз устранять даже при замене прибора однотипным. Замена металлической лампы тождественной стеклянной иногда приводит к увеличению паразитных связей и самовозбуждению, которые снимаются путем экранирования стеклянной лампы.

В графе «Для временной замены» указаны типы приборов, которые по основным характеристикам близки

к заменяемым и обычно обеспечивают работоспособность аппарата без дополнительных регулировок, но могут все же несколько ухудшить его характеристики. Такую замену целесообразно делать как временную при отсутствии прибора необходимого типа.

В графе «С переходной колодкой» указаны типы ламп или эквивалентные заменяемой, или близкие к ней, но имеющие иную цоколевку, в связи с чем замена возможна при применении специального переходного цоколя (рис. 10-13). Если исходный тип лампы устарел и снят с производства, то уместно вместо применения переходного цоколя переставить прямо ламповую панельку.

Применение переходных цоколей для ламп высокочастотных каскадов нежелательно, так как при этом увеличиваются паразитные емкости и индуктивности, приводящие к расстройке колебательных контуров и образованию паразитных связей.

Таблица 10-3

Замена ламп в приемно-усилительной аппаратуре

Заменяемая лампа	Заменяющая лампа			
	эквивалент	для временной замены	с переходной колодкой	при модернизации
1А1П	—	1А2П	—	1А2П
1А2П	—	1А1П	—	—
1Б1П	—	1Б2П	—	1Б2П
1Б2П	—	1Б1П	—	—
1К1П	—	1К2П	—	1К2П
1К2П	—	1К1П	—	—
2Ж2М	—	2К2М	—	1К2П
2К2М	—	2Ж2М	—	1К2П
2П1П	—	2П2П	—	2П2П
2П2П	—	2П1П	—	—
6А7	6А10С	—	6А2П	6И1П
6А8	—	—	—	6И1П
6А10С	6А7	—	6А2П	6И1П
6Г2	—	—	6Г7	½ 6Н2П+6Х2П
6Г7	—	—	6Г2	½ 6Н2П+6Х2П
6Ж3	—	6К4	—	6Ж2П
6Ж4	—	—	6Ж5П	6Ж5П
6Ж5П	—	—	6Ж4	—
6Ж7	—	6К7	6Ж8	6Ж2П
6Ж8	—	—	6Ж7	6Ж2П
6К3	—	6Ж8	6К7, 6К1П	6К1П
6К4	—	6Ж3	—	6К4П
6К7	6К9С	6Л7, 6Ж7	6К3	6К4П
6К9С	6К7	6Л7, 6Ж7	6К3	6К4П
6Л7	—	6А7, 6А10С	—	6А2П
6Н7С	—	—	6Н1П, 6Н8С	6Н1П
6Н8С	—	—	6Н1П, 6С5С (2 шт.)	6Н1П
6Н9С	—	—	6Н2П	6Н2П
6П1П	—	—	6П6С	6П14П
6П3С	—	6П6С	6П1П	—
6П6С	—	6П3С	6П1П	6П14П
6П9	—	—	6П15П	6П15П
6С2С	—	6С5С	½ 6Н8С	½ 6Н1П
6С5С	—	6С2С	½ 6Н8С	½ •6Н1П
6Ф6С	—	6П6С	—	6П14П
6Х6С	—	—	6Х2П	6Х2П

* В однотактных схемах.

Таблица 10-4

Взаимозаменяемость полупроводниковых диодов

Заменяемые типы	Заменяющие типы	Заменяемые типы	Заменяющие типы
ДГ-Ц1, ДГ-Ц2,	Д2Б	ДГ-Ц25	Д7Д
ДГ-Ц12		ДГ-Ц26	Д7Е
ДГ-Ц4, ДГ-Ц6	Д2Д	ДГ-Ц27	Д7Ж
ДГ-Ц5, ДГ-Ц7,	Д2Г	Д101	Д104
ДГ-Ц13, ДГ-Ц14		Д101А	Д104А
ДГ-Ц8	Д2В	Д102	Д105
ДГ-Ц21	Д7А	Д102А	Д105А
ДГ-Ц22	Д7Б	Д103	Д106
ДГ-Ц23	Д7В	Д103А	Д106А
ДГ-Ц24	Д7Г		

Примечание. Кроме того, возможна взаимная замена любых диодов в пределах типов Д1, Д2 и Д9 при условии, что допустимое обратное напряжение и выпрямленный ток, а также прямой ток у заменяющего диода имеют значения не ниже, чем у заменяемого.

Таблица 10-5

Взаимозаменяемость транзисторов

Заменяемый тип	Заменяющий тип	Заменяемый тип	Заменяющий тип
П1А	П6А, П13		
П1Б	П6В, П13	П6А	П13
П1В	П6В, П13	П6Б	П13
П1Г	П6Г, П13А	П6В	П14
П1Д	П6Д, П13Б	П6Г	П13А
П1Е	П6В, П13	П6Д	П13Б
П1Ж	П6Г, П14	П12	П19
П1И	П6Г, П15	П13	П6А
		П13А	П6Г
		П13Б	П6Д
П3А	П202, П203	П14	П6Г
П3Б	П202, П203	П19	П12
П3В	П202, П203	П406	П408
П5А	П6В, П13	П407	П409
П5Б	П6В, П14	П408	П406
П5В	П6Г, П13А	П409	П407
П5Г	П6Д, П13Б		

В графе «При модернизации» указаны типы ламп, установка которых, как правило, требует определенных

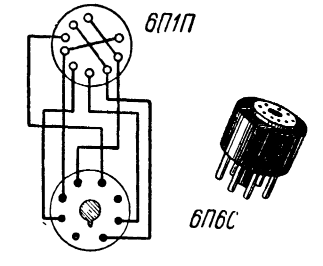


Рис. 10-13. Схема соединений и внешний вид переходного цоколя для замены лампы.

переделок в монтаже, подгонки нового режима питания и может затрагивать даже принципиальную схему. Такая замена целесообразна главным образом, когда требующая

замены лампа безнадежно устарела и более не выпускается, а также при капитальной модернизации аппарата.

После любой замены лампы или транзистора надо обязательно убедиться в том, что режим питания его соответствует нормам и что не произошло расстройки колебательных контуров, связанных с замененным прибором.

Заключительный этап ремонта состоит в испытании отремонтированного аппарата на соответствие техническим требованиям (техника приведения таких испытаний описывается в гл. 12). В ходе этих испытаний может обнаружиться надобность в дополнительном налаживании аппарата, в частности — в подстройке колебательных контуров (методы настройки колебательных контуров излагаются в гл. 11).

Для облегчения последующего технического обслуживания отремонтированного аппарата по окончании ремонта надо сделать соответствующие отметки в технической документации, прилагаемой к аппарату. Если в ходе ремонта была произведена замена некоторых деталей с изменением их типов или электрических характеристик, то следует внести соответствующие исправления в принципиальную схему и спецификацию.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

НАСТРОЙКА КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРОВ ПРИЕМНИКОВ

11-1. Общие правила настройки колебательных контуров

О необходимости подстройки колебательных контуров приемника при условии, что в нем устранены повреждения, искажающие режим ламп или обусловленные наличием паразитных связей, можно судить по несоответствию градуировки шкалы настройки, пониженной или неравномерной по диапазонам чувствительности и плохой избирательности.

Единой схемы для настройки контуров приемников различных типов не существует, но при всякой подстройке их различают четыре основные операции 1) настройка одного или нескольких контуров на какую-либо фиксированную частоту (в каскадах промежуточной частоты, контурах заграждающих фильтров и в приемниках с фиксированной настройкой); 2) согласование резонанса между одновременно настраивающимися несколькими контурами (в приемниках прямого усиления и в супергетеродине); 3) сопряжение кривой настройки с градуировкой шкалы и 4) регулировка избирательности приемника. Все ли или только некоторые из этих операций подлежат выполнению, — зависит от типа приемника.

У приемников прямого усиления различают антенный или входной контуры, контуры усилителей высокой частоты и контур детектора с обратной связью или без нее, а у супергетеродинных приемников — высокочастотные контуры (перед преобразователем частоты), контур гетеродина и контуры промежуточной частоты (последний из них — контур детектора). Кроме того, во многих приемниках имеются заграждающие контуры, включенные обычно сразу за антенным гнездом.

Сильно расстроенный приемник подстраивают, начиная с контура детектора, а затем, последовательно приближаясь к антенне, настраивают все прочие контуры. У супергетеродинных приемников контур гетеродина настраивают до подстройки контуров, стоящих перед преобразователем частоты. Контуром, определяющим градуировку, в приемнике прямого усиления является контур детектора (особенно при наличии в нем обратной связи), а в супергетеродине — совместно контур гетеродина и контуры усилителя промежуточной частоты. Входные контуры (перед преобразователем частоты) подстраивают последними в соответствии с полученной градуировкой шкалы (рис. 11-1).

Для подстройки контуров необходим высокочастотный источник напряжения, частоту которого можно было бы устанавливать по возможности точно. Это может быть генератор стандартных сигналов, сигнал-генератор или самодельный генератор. Присоединяя сигнал-генератор к подлежащим подстройке контурам, надо помнить, что они нагружаются соединительными проводами, расстраиваются и увеличивают свое затухание. Поэтому напряжение высокой частоты следует всегда подавать на управляющую сетку лампы, предшествующей подстраиваемому контуру (рис. 11-2, *а*), а при подстройке антенного контура — на гнездо антенны (рис. 11-2, *б*) через эквивалент антенны (рис. 11-2, *в*).

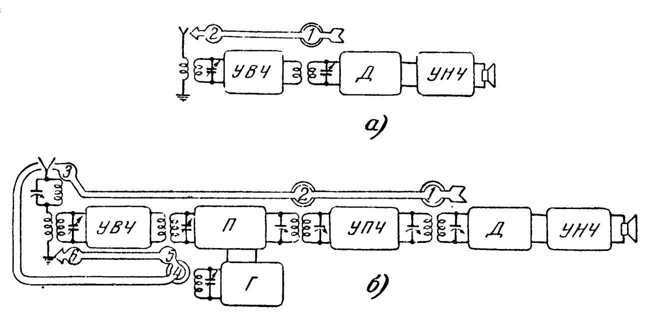


Рис. 11-1. Порядок настройки контуров приемника прямого усиления (*а*) и супергетеродина (*б*).

УВЧ — усилитель высокой частоты; *Д* — детектор; *УНЧ* — усилитель низкой частоты; *П* — преобразователь; *Г* — гетеродин, *УПЧ* — усилитель промежуточной частоты. Двумя кружочками обведены номера контуров, определяющих градуировку шкалы настройки приемника.

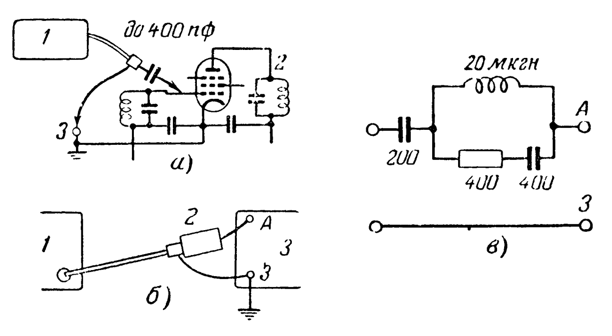


Рис. 11-2. Подключение генератора сигналов.

а — к управляющей сетке лампы (*1* — сигнал-генератор; *2* — настраиваемый контур); *б* — к гнезду антенны (*1* — сигнал-генератор, *2* — эквивалент антенны, *3* — приемник); *в* — эквивалент антенны.

Как уже упоминалось выше (стр. 52), точная подстройка колебательного контура на фиксированную частоту может быть осуществлена с помощью одного подстроечного элемента. Для точного согласования нескольких одновременно перестраиваемых контуров необходимо иметь

конденсаторы переменной емкости со строго одинаковым законом изменения емкости и два подстроечных элемента, позволяющих выравнять как индуктивности всех контуров, так и начальные емкости их.

Для достижения же хорошего сопряжения между настройками входных колебательных контуров и гетеродинного контура, в последнем надо иметь три подстроеч-

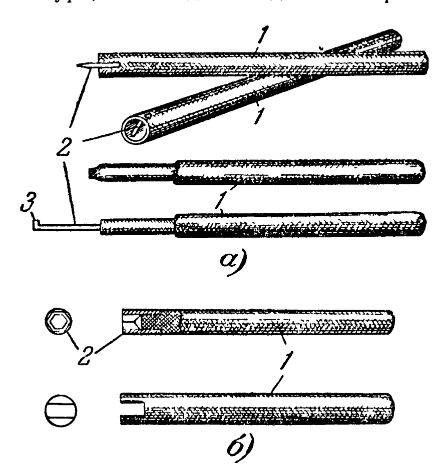


Рис. 11-3. Инструменты для подстройки контуров.

а — изолированные отвертки (*1* — текстолитовая ручка, *2* — латунь или бронза, *3* — расклепать и заточить); *б* — ключи (*1* — текстолитовая ручка, *2* — тонкая латунная трубка).

ных элемента. При этом точное сопряжение обеспечивается только в трех точках диапазона. Качество же сопряжения в остальных точках зависит от выбора первых трех точек и от расчета гетеродинного контура. Если произвести сопряжение не в трех точках, которые были предусмотрены расчетом, то можно получить очень большие отклонения от сопряжения в промежуточных точках, следствием чего явится большая неравномерность чувствительности по диапазону и снижение помехоустойчивости приемника. У большинства современных промышленных

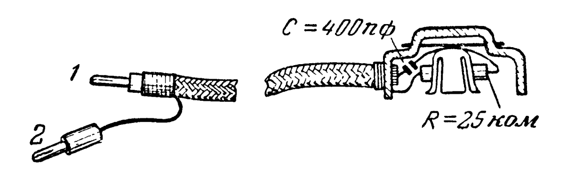


Рис. 11-4. Колпачок для присоединения генератора к лампе.

1 — к генератору сигналов; *2* — к гнезду заземления приемника.

приемников предусмотренные расчетом точки точного сопряжения отмечаются особыми метками непосредственно на шкалах настройки.

При относительно узких диапазонах (с небольшим относительным изменением частоты) вполне удовлетворительное согласование и сопряжение настроек можно получить при уменьшенном количестве подстроечных элементов и точек точного сопряжения. К этому часто прибегают на растянутых диапазонах КВ и в диапазоне УКВ, а в упрощенных приемниках даже на диапазонах СВ и ДВ.

Качество сопряжения может быть также нарушено, если при подстройке колебательных контуров слегка изменить значение промежуточной частоты. Расчетное значение промежуточной частоты и допуск на ее отклонение от номинала указываются в технических описаниях радиовещательных приемников.

Поэтому, раньше чем начинать подстройку колебательных контуров, следует внимательно ознакомиться со шкалой настройки приемника и его описанием, выяснить все частоты, на которых необходимо производить подстройку его контуров и подготовить соответствующую измерительную аппаратуру.

Кроме генератора сигналов, при настройке колебательных контуров очень полезно иметь измеритель выхода (специальный вольтметр переменного тока, предназначаемый для измерения выходного напряжения усилителя низкой частоты) и высокоомный вольтметр постоянного тока со шкалой на 5—10 *в* или универсальный ламповый вольтметр (постоянного и переменного тока).

Из числа специальных инструментов, необходимых при настройке колебательных контуров, упомянем изолированные отвертки и ключи (рис. 11-3), применяемые для вращения подстроечных сердечников различных типов. Эти инструменты легко изготовить самому из текстолитовых палочек. Металлические лезвия и головки должны иметь минимальные размеры и массу с тем, чтобы их влиянием на настраиваемые катушки индуктивности можно было пренебрегать.

Если в каскадах усиления промежуточной и высокой частоты настраиваемого приемника применены лампы с выводом управляющей сетки сверху баллона, то для подключения к ним генератора сигналов удобно воспользоваться специальным колпачком (рис. 11-4), который надевается вместо имеющегося в приемнике. При этом от управляющей сетки отключается предшествующий колебательный контур, который может шунтировать выход генератора и осложнять настройку последующих колебательных контуров.

Ниже мы сначала рассмотрим порядок настройки колебательных контуров приемников АМ, а затем отдельно опишем способы настройки колебательных контуров ЧМ канала.

11-2. Настройка контуров приемников АМ

Подготовка к настройке. Перед настройкой колебательных контуров надо убедиться в том, что роторы блока конденсаторов переменной емкости не перекошены и не сбиты один относительно другого. При полностью введенном роторе воздушные зазоры между пластинами должны быть одинаковыми, а срез роторных пластин всех секций должен находиться в одной общей плоскости (это выверяется прикладыванием линейки).

Такие дефекты встречаются не очень часто, но если их проглядеть и пытаться устранить расстройку подгонкой катушек и подстроечных конденсаторов под неисправный блок конденсаторов переменной емкости, то можно окончательно расстроить приемник.

При наличии механических дефектов у блока конденсаторов переменной емкости надо или устранить их или заменить блок новым.

Выравнивание емкости отдельных секций блока конденсаторов возможно с помощью высокочастотного измерителя емкости (например, типа ИЕВ) и специального приспособления, обеспечивающего поочередное подключение различных секций блока к измерителю жесткими, не меняющими своего положения проводниками.

При выравнивании емкостей надо добиваться того, чтобы емкости всех секций различались не более чем на 1 *пф* при любом угле поворота ротора.

Затем нужно проверить соединение стрелки шкалы с приводным механизмом, чтобы она при крайнем своем положении совпадала с крайней отметкой, нанесенной на шкале, либо при отсутствии такой отметки при обоих

крайних положениях ротора конденсаторов отклонялась от концов шкалы симметрично. Регулятор громкости приемника надо установить приблизительно на 4/5 полной громкости, а регулятор тембра — в положение наибольшего пропускания высоких тонов.

Если приемник имеет устройство для регулирования ширины полосы пропускаемых частот, то оно должно быть установлено на самую узкую полосу. В приемниках, имеющих АРУ, последнее должно быть временно выключено. Для этого линию регулирующего напряжения нужно прервать и отрицательное напряжение на регулируемые лампы подать помимо нее.

Разумеется, надо также убедиться в механической исправности настраиваемых контуров (отсутствии замыканий между пластинами статора и ротора конденсаторов переменной емкости, целости катушек и исправности переключателя диапазонов).

Сам приемник должен быть расположен на столе так, чтобы доступ ко всем элементам подстройки и к сеточным цепям настраиваемых каскадов был достаточно свободен. Некоторые приемники для этой цели приходится вынимать из ящика.

Подключение сигнал-генератора и измерителя выхода. Подключение налаживаемого приемника к генератору производится всегда через конденсатор или эквивалент антенны (рис. 11-2), который воссоздает реальный режим работы входных контуров приемника. Кроме того, конденсатор или эквивалент антенны разделяют приемник и генератор по постоянному току и предотвращают короткие замыкания или утечку в цепях питания электродов ламп приемника. Экранирующая оболочка кабеля от сигнал-генератора должна быть соединена с корпусами или зажимами заземления как приемника, так и генератора.

Перед каждой подстройкой генератор должен быть установлен на ту частоту, на которую данный контур приемника подстраивается. Подводимое к подстраиваемым контурам напряжение высокой частоты всегда должно быть возможно меньше, чтобы, с одной стороны, не перегрузить лампы, а с другой — чтобы по измерителю выхода можно было следить за повышением чувствительности. Если чувствительность при подстройке возрастает, то следует сразу же снижать подаваемое высокочастотное напряжение.

При модулируемом генераторе можно подстраивать приемник на слух, но подстройка получается более точной, если пользоваться измерителем выхода. Для его присоединения удобны имеющиеся в приемниках гнезда дополнительного громкоговорителя. Для увеличения отклонений стрелки измерителя выхода его можно присоединять к первичной обмотке выходного трансформатора, а не ко вторичной. Чтобы при этом не нагружать измеритель выхода постоянным анодным током выходной лампы, его надо включать через конденсатор емкостью 0,2—2 *мкф*.

Можно также производить подстройку контуров при немодулированном сигнале. Тогда в качестве индикатора настройки применяют ламповый вольтметр постоянного тока, включенный параллельно нагрузочному сопротивлению диодного детектора. Можно также судить о настройке по оптическому индикатору настройки, имеющемуся в приемнике, но в этом случае настройка получается менее точной.

Подстройка контуров промежуточной частоты. При не очень сильной расстройке можно попытаться настроить все контуры промежуточной частоты в один прием, для чего сигнал от генератора подается на управляющую сетку смесительной лампы.

Колебания гетеродина на время настройки усилителя промежуточной частоты должны быть сорваны. Для этого достаточно соединить управляющую сетку гетеродинной лампы через конденсатор емкостью 0,05—0,1 *мкф* с землей.

Настройка колебательных контуров осуществляется последовательным вращением их органов подстройки до получения максимального выходного напряжения После подстройки обоих контуров двухконтурного фильтра надо вновь вернуться к первому из настраивавшихся контуров и уточнить его настройку. Путем ряда таких последовательных приближений можно добиться точной настройки в резонанс всех контуров, причем коэффициент усиления усилителя промежуточной частоты станет максимальным.

Для ускорения настройки контуров полосовых фильтров можно ослабить влияние второго контура на настраиваемый путем временного шунтирования второго контура сопротивлением 10—20 *ком* (рис. 11-5) Последовательно

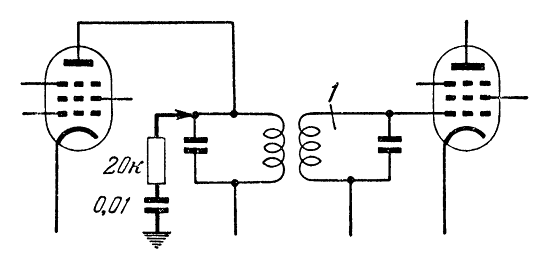


Рис. 11-5. Настройка полосового фильтра.

1 — настраиваемый контур.

с этим сопротивлением полезно включать конденсатор емкостью 0,01—0,02 *мкф*, преграждающий путь постоянному току. Тогда второй конец шунтирующей цепочки можно во всех случаях соединять прямо с металлическим шасси приемника.

Применение такой цепочки совершенно необходимо при настройке по максимуму, если в полосовом фильтре предусмотрена сильная связь, создающая двугорбую резонансную кривую. При шунтировании одного контура резонансная кривая даже в этом случае превращается в одногорбую с одним максимумом, соответствующим резонансной частоте незашунтированного контура.

Если контуры расстроены сильно или производится первичная настройка контуров вновь смонтированного приемника, то генератор сигнала следует сначала подключить к управляющей сетке последней лампы усилителя промежуточной частоты и прежде всего настроить включенные в ее анодную цепь контуры. Затем генератор пересоединяют к управляющей сетке предыдущей лампы и настраивают контуры, включенные в ее анодную цепь и т. д. вплоть до контура, включенного в анодную цепь смесительной лампы.

Сразу же после настройки всех контуров промежуточной частоты, не изменяя частоты генератора, настраивают заграждающий контур промежуточной частоты на входе приемника. Кабель от генератора присоединяют к антенному гнезду через эквивалент антенны. Настройка заграждающего контура производится на минимальное выходное напряжение приемника.

Поскольку избирательность по соседнему каналу, полоса пропускаемых частот и частотные искажения в ее пределах в основном зависят от результирующей кривой избирательности усилителя промежуточной частоты, после настройки его контуров полезно снять и построить полученную кривую избирательности.

Для этого надо иметь генератор сигналов, допускающий контролируемое изменение частоты в небольших пределах (20—30 *кгц*) в районе промежуточной частоты приемника. При применении генератора типа ГСС-6 для этой цели пользуются шкалой на верньерной рукоятке, причем цену одного деления шкалы определяют путем деления изменения частоты по основной шкале при 1—2 полных оборотах верньерной ручки на соответствующее число ее делений.

Если полученная кривая избирательности усилителя промежуточной частоты имеет резко несимметричный вид, то это говорит или о неточной настройке отдельных контуров, или о наличии паразитной обратной связи (обычно за счет емкости между анодными и сеточными цепями).

Если полученная ширина полосы пропускания не удовлетворяет требованиям, то ее можно отрегулировать путем изменения степени связи между связанными контурами полосовых фильтров.

В усилителях промежуточной частоты, снабженных фильтрами с регулируемой полосой, после настройки контуров при самой слабой связи следует снять кривую избирательности для двух крайних установок регулятора полосы пропускания (техника снятия кривых избирательности излагается в гл. 12).

Подстройка гетеродина. После того, как настройка контуров промежуточной частоты зафиксирована, градуировка шкалы настройки приемника будет определяться только настройкой колебательного контура гетеродина. От правильности настройки гетеродинного контура будет также зависеть качество сопряжения его со входными контурами, а значит и эффективность предварительной избирательности, определяющей реальную чувствительность и другие важнейшие характеристики супергетеродинного приемника. Поэтому настройка гетеродинного контура требует особой тщательности.

Прежде чем приступать к ней, надо внимательно изучить принципиальную схему гетеродина и выяснить: 1) расположение в монтаже всех органов подстройки гетеродинного контура на каждом поддиапазоне и 2) наличие подстроечных органов, влияющих на настройку на нескольких поддиапазонах. Так например, при схеме переключения диапазонов, изображенной на рис. 3-39, *а* подстройка индуктивности катушки L_1 скажется на обоих диапазонах и ее подстроечный сердечник надо рассматривать как орган подстройки в диапазоне более коротких волн. Подстроечный же сердечник катушки L_2 будет влиять на настройку только более длинноволнового диапазона (когда переключатель замкнут).

Проанализировав действие органов подстройки гетеродина, можно наметить правильную очередность подстройки различных диапазонов, которая позволит каждый диапазон настраивать один раз.

В современных многодиапазонных приемниках, как правило, применяют такую схему переключения диапазонов, которая обеспечивает независимую подстройку каждого из них (рис. 3-39, *б*). При этом очередность подстройки диапазонов не играет существенной роли.

Настройку гетеродинного контура обычно осуществляют косвенным методом: по приему частоты, соответствующей шкале настройки приемника, т. е. отличающейся от частоты гетеродина на величину промежуточной частоты.

При этом на генераторе сигналов устанавливается частота, соответствующая той или иной метке на шкале приемника, выход генератора сигналов подключается к управляющей сетке смесительной лампы и подстройкой соответствующего органа гетеродинного контура добиваются максимального сигнала на выходе приемника.

При таком методе настройки надо всегда твердо знать, что прием сигнала происходит не по зеркальному каналу. В радиовещательных приемниках обычно частота гетеродина при приеме по основному каналу выше принимаемой на величину промежуточной частоты. Таким образом сравнивая две настройки генератора сигналов f_1 и f_2, при которых происходит прием, отличающиеся на удвоенную промежуточную частоту, всегда можно определить и истинную частоту гетеродина

$$f_{\text{гет}} = \frac{f_1 + f_2}{2},$$

и то, какая из этих двух частот соответствует основному каналу, а какая зеркальному.

Во избежание ошибок из-за приема гармоник частоты генератора сигналов надо принимать во внимание уровень выходного сигнала при различных настройках генератора (гармоники дают значительно меньший уровень выходного сигнала).

Подстройка гетеродина по методу одной точки встречается в растянутых диапазонах КВ. При этом ручку настройки устанавливают так, чтобы стрелка оказалась на метке шкалы настройки, соответствующей частоте точного сопряжения. На генераторе сигналов устанавливают эту частоту и производят подстройку гетеродинного контура подстроечным сердечником или конденсатором этого диапазона по максимальному выходному сигналу.

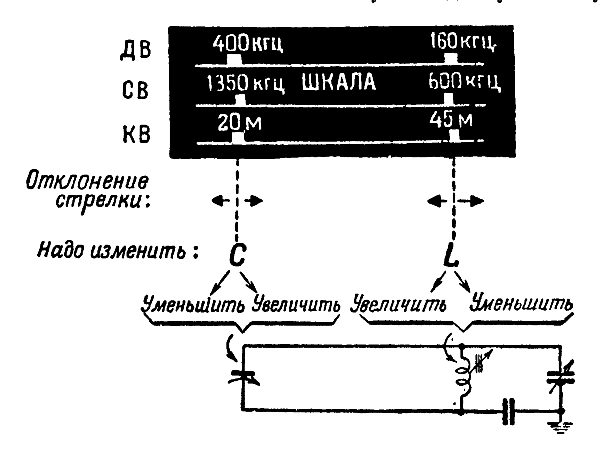


Рис. 11-6. Схема подстройки контуров гетеродина при сопряжении в двух точках.

Для облегчения подстройки гетеродина раньше, чем производить подстройку при помощи соответствующего органа, можно определить отклонение настройки гетеродина, добиваясь приема сигнала вращением ручки настройки приемника. Если прием происходит при отклонении стрелки в сторону более высоких частот на шкале настройки, то это значит, что собственная частота гетеродина ниже требуемой и подстройка будет достигнута при уменьшении емкости подстроечного конденсатора или вывинчивании ферромагнитного сердечника из катушки гетеродина. Если прием сигнала происходит при отклонении стрелки на шкале приемника в сторону более низких частот, то это значит, что собственная частота гетеродина выше требуемой и нужны обратные меры для подстройки.

Если частота точного сопряжения неизвестна, то при сопряжении в одной точке выбирают частоту, соответствующую примерно средине шкалы.

Подстройка гетеродина по методу двух точек (при помощи параллельного подстроечного конденсатора и подстройки индуктивности) начинается с подгонки начальной емкости вблизи высшей частоты настраиваемого диапазона, а затем подстраивается индуктивность вблизи низшей частоты диапазона (рис. 11-6).

После подстройки индуктивности вновь возвращаются к высшей частоте точного сопряжения и восстанавливают на этой частоте настройку подстроечным конденсатором и т. д. до тех пор, пока в обеих точках не будет достигнуто соответствие шкале.

Если при двухэлементной подстройке точки точного сопряжения неизвестны, то их берут на частотах, отличающихся от высшей и низшей частоты данного диапазона на 10—15%.

Подстройка гетеродина по методу трех точек требует наличия в гетеродинном контуре трех подстроечных

элементов: двух подстроечных конденсаторов (параллельного и последовательного) и подстроечного сердечника у контурной катушки. Емкость последовательного (сопрягающего) конденсатора обычно бывает достаточно большой и в монтаже часто применяют конденсатор постоянной емкости. Тогда подгонка необходимой емкости этого конденсатора осуществляется путем замены его или подбором емкости небольшого дополнительного конденсатора, включенного параллельно ему.

Первую подстройку в этом случае также производят вблизи высшей частоты диапазона при помощи параллельного подстроечного конденсатора. Затем переходят к подстройке гетеродина вблизи низшей частоты диапазона при помощи последовательного подстроечного конденсатора.

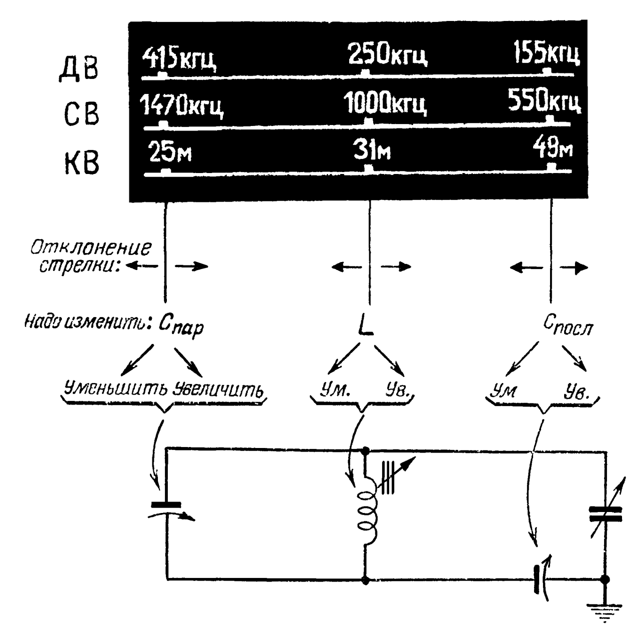


Рис. 11-7. Схема подстройки контуров гетеродина при сопряжении в трех точках.

Третьей по порядку подгоняют настройку в средней точке диапазона путем подстройки индуктивности катушек гетеродинного контура.

В какую сторону следует изменять емкости и индуктивности при том или ином отклонении от градуировки шкалы, поясняет рис. 11-7.

После однократной подстройки во всех трех точках снова возвращаются к первой точке (вблизи высшей частоты диапазона) и если она оказалась сбитой, то повторяют описанную процедуру до тех пор, пока во всех трех точках не будет достигнуто устойчивое совпадение настроек с градуировкой шкалы.

Если точные значения частот в трех точках сопряжения неизвестны, то в качестве средней точки сопряжения можно брать частоту 250 *кгц* в диапазоне ДВ и 1000 *кгц* в диапазоне СВ, а в качестве крайних — частоты, отличающиеся от высшей и низшей частоты данного диапазона на 5—7%.

Подстройка высокочастотных контуров производится обычно в двух точках, совпадающих с крайними точками сопряжения гетеродина.

Выход генератора сигналов присоединяют через эквивалент антенны к зажимам антенна—земля.

Приемник настраивают по его шкале на низшую частоту точного сопряжения, а генератор сигнала подстраивают по максимальному сигналу на выходе приемника. Затем подстройкой сердечника катушки входного контура добиваются максимального повышения выходного сигнала приемника. Если высокочастотная часть приемника содержит более одного колебательного контура, то сначала можно попытаться настроить их одновременно.

После того, как настройка в этой точке представится законченной, надо убедиться в точном совпадении частоты генератора с принимаемой частотой. Для этого надо запомнить положение ручки настройки генератора сигнала и, следя за выходным сигналом приемника, слегка изменить частоту генератора в одну и другую сторону. Если отклонение частоты генератора в любую сторону от первоначально установленной вызывает монотонное уменьшение выходного сигнала приемника, то это является признаком правильной настройки. Если же максимум выходного сигнала сместился в сторону от первоначально установленной частоты генератора или появилось два максимума, то подстройку входных контуров следует уточнить, подстроив генератор сигналов под новое положение максимума.

Появление двух максимумов может быть следствием предусмотренной в приемнике сильной связи между двумя входными контурами, образующими полосовой фильтр. В этом случае надо каждый из его контуров настраивать порознь, шунтируя другой контур сопротивлением на 10—20 *ком*, как это было описано для настройки фильтров промежуточной частоты.

Если в приемнике имеется усилитель высокой частоты с колебательным контуром в анодной цепи, то при осложнениях в одновременной настройке всех высокочастотных контуров следует сначала подстроить этот контур, подавая сигнал от генератора непосредственно на управляющую сетку лампы усилителя высокой частоты.

После того, как подстройка высокочастотных контуров на низшей частоте точного сопряжения произведена, приемник перестраивают по его шкале на высшую частоту точного сопряжения.

Частоту генератора устанавливают опять по максимуму выходного сигнала приемника, а подстройку контуров осуществляют подстроечными конденсаторами, добиваясь наибольшего увеличения этого максимума.

Затем вновь возвращаются к первой точке и уточняют подстройку сердечниками катушек и т. д. пока при очередном переходе к другой точке диапазона дополнительная подстройка ее окажется ненужной.

В заключение для проверки качества сопряжения надо выверить работу приемника на средней частоте диапазона. Для этого сравнивают величины входных сигналов, подаваемых от генератора, необходимые для получения одинакового выходного напряжения при настройке на среднюю частоту и на частотах, на которых производилась подстройка входных контуров. Они должны отличаться не более чем в 2—3 раза.

Особенности настройки в коротковолновых диапазонах. Во многих приемниках наблюдается определенное взаимное влияние настроек гетеродинного и входного контура в диапазоне КВ. Поэтому первичное сопряжение гетеродинного контура со шкалой настройки следует считать предварительной операцией. Окончательная настройка гетеродинного и входного контуров может потребовать одновременной дополнительной подстройки их уже при подаче сигнала от генератора на антенный вход приемника.

Вторая особенность состоит в том, что большинство современных приемников снабжается «растянутыми» коротковолновыми диапазонами, причем в схемы колебательных контуров вводятся дополнительные конденсаторы, уменьшающие коэффициент перекрытия диапазона (см. рис. 3-40).

При подстройке таких контуров прежде всего надо убедиться в том, что не сбит коэффициент перекрытия

гетеродинного контура. Для этого надо взять отношение крайних частот, обозначенных на шкале приемника, и сравнить его с действительным отношением принимаемых приемником крайних частот. Если эти отношения совпадают, то достаточно производить настройку по методу одной или двух точек сопряжения предусмотренными органами подстройки. Если же коэффициент перекрытия сбит, то это свидетельствует об отклонении емкостей «растягивающих» конденсаторов (C_{p1} и C_{p2} на рис. 3-40) от их расчетных значений. Тогда подстройка гетеродина должна вестись по методу трех точек, причем может потребоваться замена растягивающих конденсаторов.

Сбитый коэффициент перекрытия во входном контуре сказывается в резкой неравномерности чувствительности по диапазону после подстройки контура в одной точке (обычно здесь предусматривается лишь один орган подстройки). В этом случае также надо уточнить коэффициент перекрытия входного контура соответствующей заменой растягивающих конденсаторов.

Если входной контур настроен правильно, то в любой точке диапазона после настройки генератора сигнала по максимуму выходного сигнала приемника отклонение органа подстройки в любую сторону от установленного положения должно сопровождаться уменьшением сигнала на выходе приемника.

Следует здесь еще раз отметить особую опасность приема по зеркальному каналу именно в диапазонах коротких волн. Поэтому настраивая приемник в диапазоне КВ, надо особенно внимательно следовать приведенным выше указаниям по этому вопросу.

Неисправности, обнаруживаемые при настройке контуров. При подстройке колебательных контуров можно встретиться с рядом специфических неисправностей.

Контур обладает большим затуханием. Эта неисправность выражается в том, что резонанс получается очень тупым, каскад с таким контуром не дает заметного усиления и сильная перестройка контура мало изменяет показания измерителя выхода. Причиной этому служит ухудшение качества какой-либо из входящих в контур деталей (конденсатора, сердечника, катушки) и устранить ее удается иногда только последовательной заменой каждой из деталей неисправного контура.

Контур не подстраивается на заданную частоту предусмотренными для подстройки контура элементами; например, при вращении сердечника в катушке контура промежуточной частоты не удается получить максимальное показание измерителя выхода. Это говорит о слишком сильной расстройке контура. Причиной этого может быть механическое повреждение катушки или монтажа контура, а иногда — несоответствие емкости имеющегося в контуре конденсатора. Если грубых неисправностей незаметно, то для подстройки контура можно заменить конденсатор постоянной емкости. Также настраивают и сильно расстроенные гетеродинные контуры, подбирая в начале диапазона параллельную, а в конце — последовательную емкость.

На отдельных участках диапазона пропадает прием станций. Если имеет место полное прекращение приема на отдельных участках шкалы, то такое явление может быть следствием двух причин: 1) замыкание пластин ротора и статора конденсатора переменной емкости, — тогда на данном участке шкалы прекращается прием независимо от диапазона; 2) срыв генерации гетеродина из-за низкой добротности его контура или падения крутизны характеристики гетеродинной лампы, — тогда прекращение приема на различных диапазонах происходит в общем случае в разных точках шкалы. Неисправность второго рода наиболее часто случается в конце коротковолнового диапазона. Она может быть вызвана также понижением рабочих напряжений на электродах лампы гетеродина (в том числе понижением напряжения накала, например, из-за падения напряжения в длинных и недостаточно толстых соединительных проводах цепи накала).

Наряду с другими средствами устранения «провалов» в гетеродине можно как исключение увеличить обратную связь (сблизить катушку обратной связи с контурной катушкой или увеличить число витков в первой катушке).

11-3. Настройка контуров УКВ ЧМ канала

Общие правила и приемы настройки колебательных контуров УКВ ЧМ канала не отличаются от изложенных выше. Однако имеются и характерные специфические приемы, без выполнения которых правильная настройка будет невозможной.

Настройка контуров детектора ЧМ производится при подаче немодулированного сигнала от генератора на управляющую сетку последней лампы усилителя промежуточный частоты. В качестве индикатора настройки лучше всего применить ламповый вольтметр постоянного тока, но можно применить и высокоомный магнитоэлектрический вольтметр со шкалой на несколько вольт.

Если детектор ЧМ выполнен по схеме фазового дискриминатора (рис. 4-33), то вольтметр присоединяют параллельно одному плечу нагрузки (на рис. 4-33 и 4-37 к сопротивлению R_2), так как выпрямленные диодами напряжения имеют в обоих плечах нагрузки встречные полярности и взаимно компенсируются.

Если в приемнике применен дробный детектор (рис. 4-38), то вольтметр постоянного тока присоединяют параллельно конденсатору большой емкости (C_5 на рис. 4-38 и 4-39).

После подключения вольтметра производится настройка первичного контура. Признаком точной настройки его является максимальное показание вольтметра постоянного тока.

Для настройки вторичного контура в схеме дискриминатора вольтметр переключают параллельно обоим плечам нагрузки (на рис. 4-33 и 4-37 к точкам *земля — н. ч.*). Признаком точной настройки вторичного контура является полная компенсация постоянных напряжений обоих плеч схемы, причем показания вольтметра уменьшаются до нуля. Отклонение настройки вторичного контура в одну и другую сторону от резонанса должно приводить к появлению и увеличению постоянных напряжений противоположных знаков.

Для настройки вторичного контура дробного детектора, выполненного по симметричной схеме (рис. 4-38) вольтметр включают между землей и точкой *д*. Настройка производится также по нулевому показанию вольтметра.

В случае несимметричной схемы дробного детектора (рис. 4-39) на время настройки вторичного контура параллельно конденсатору большой емкости (C_5 на рис. 4-39) присоединяют дополнительный делитель из двух равных сопротивлений для образования искусственной средней точки и вольтметр подключают, как это показано на рис. 11-8. Величина сопротивлений делителя выбирается в 10—20 раз больше сопротивления R_1.

Для достижения точной настройки поочередную подстройку первичного и вторичного контуров следует повторить 2—3 раза.

После описанной настройки колебательных контуров детектора ЧМ надо снять полученную характеристику его, причем может выясниться необходимость дополнительной регулировки.

Для снятия детекторной характеристики вольтметр оставляют включенным так же, как при настройке вторичного контура, и изменяя частоту генератора в обе стороны от точного значения промежуточной частоты, записывают (с учетом знаков) отклонения частоты и соответствующие им показания вольтметра. По полученным точкам строят график детекторной характеристики. При правильной настройке схемы детекторная характеристика должна

иметь симметричный вид и ее прямолинейный участок должен охватывать полосу частот не у́же 150—200 *кгц* (рис. 11-9).

Неправильная форма детекторной характеристики чаще всего бывает связана с несимметрией вторичного колебательного контура относительно его средней точки. Несколько улучшить симметрию детекторной характеристики удается подбором сопротивлений R_3 и R_4 (см. рис. 4-38, 4-39 и 4-40).

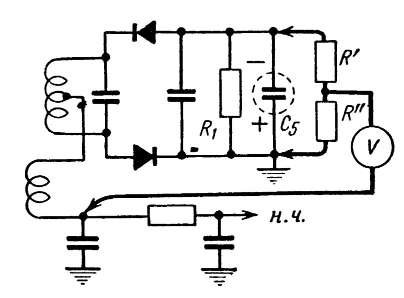


Рис. 11-8. Включение вольтметра постоянного тока для настройки вторичного контура в схему несимметричного дробного детектора.

Эти сопротивления легче всего подобрать, подавая сигнал от генератора АМ и добиваясь наибольшего подавления низкочастотного сигнала на низкочастотном выходе детектора.

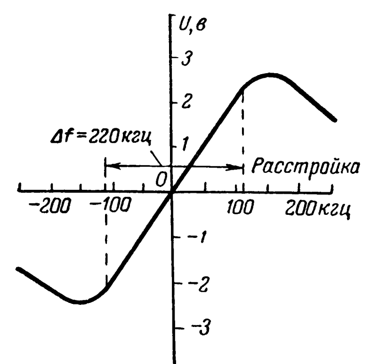


Рис. 11-9. Типичный вид детекторной характеристики.

Если прямолинейный участок детекторной характеристики имеет недостаточную протяженность (у́же 150 *кгц*), то надо увеличить связь между катушками первичного и вторичного контуров. При чрезмерной протяженности его (более 250 *кгц*), напротив, надо ослабить связь между контурами.

Настройка контуров промежуточной частоты канала ЧМ может производиться при помощи генератора ЧМ колебаний (в этом случае индикатором может служить измеритель выхода, включенный на выходе усилителя низкой частоты) или при подаче немодулированного сигнала от генератора. В последнем случае индикатором служит вольтметр постоянного тока, который в отсутствии ограничительного каскада подключают так же, как при настройке первичного контура детектора, а при наличии ограничителя — параллельно цепочке R_1C_1 (см. рис. 4-25) ограничителя.

При настройке колебательных контуров промежуточной частоты в приемнике, снабженном дробным детектором, надо вращать подстроечники медленно, потому что большая постоянная времени цепи нагрузки дробного детектора придает индикатору большую инерционность и при быстрой перестройке контуров легко проскочить положение резонанса, не заметив его.

От полосы пропускания усилителя промежуточной частоты ЧМ канала в сильной мере зависят нелинейные искажения при приеме на УКВ. Если полоса пропускания, измеренная на уровне 0,5, составляет менее 200 *кгц*, то ее следует искусственно расширить путем шунтирования колебательных контуров сопротивлениями в 10—20 *ком*.

Если связь в двухконтурных фильтрах выбрана сильнее критической и они обладают двугорбыми резонансными кривыми, то для настройки по максимуму контур, связанный с настраиваемым, временно шунтируют сопротивлением в 3—5 *ком*.

Настройка гетеродина распадается на предварительную, в ходе которой сильно расстроенный гетеродин вгоняется в шкалу настройки независимо от регулировки прочих элементов УКВ блока, и на окончательную, осуществляемую одновременно с настройкой цепей высокочастотного сигнала.

Предварительную настройку гетеродина легче всего осуществлять при помощи резонансного или гетеродинного волномера, представляющего собой точно отградуированный радиоприемник, снабженный индикатором резонанса.

Связывая волномер с гетеродином, надо прежде всего обнаружить колебания гетеродина, а затем по возможности ослабить между ними связь, оставляя однако возможность следить по волномеру за частотой колебаний гетеродина.

Вычислив для двух настроек вблизи начала и конца шкалы необходимые частоты гетеродина (на величину промежуточной частоты выше принимаемых), на эти частоты поочередно настраивают волномер и подстраивают гетеродин изменением индуктивности и емкости. Если перестройка гетеродина осуществляется диамагнитным сердечником, то, слегка смещая этот сердечник по оси, при введенном в катушку положении, производят подстройку гетеродина на высшей частоте. Подстройку на низшей частоте в этом случае производят подбором емкости гетеродинного контура.

Если настройка в УКВ блоке осуществляется при помощи конденсаторов переменной емкости, то, как обычно, подстройку на высшей частоте осуществляют изменением начальной емкости контура, а на низшей — подстройкой индуктивности.

В ходе настройки гетеродина может выявиться наличие паразитной генерации, «перескоков» частоты гетеродина или срывов генерации в какой-либо части диапазона. Эти явления легко распознаются с помощью волномера. Они обычно бывают вызваны отсутствием балансировки моста, нейтрализующего связь гетеродинного контура с высокочастотным контуром.

Действие подобных мостов было описано выше (стр. 86, рис. 4-17 и 4-19). Практически проверить и уточнить балансировку моста, нейтрализующего связь гетеродина с усилителем высокой частоты, можно, включая на выход усилителя высокой частоты (к точкам *1 — 3* на рис. 4-16 и 4-18) высокочастотный ламповый вольтметр (например, ВКС-7) и добиваясь минимального просачивания напряжения гетеродина подстройкой предусмотренной для этой цели емкости. Остаточное напряжение гетеродина, проникающее в усилитель высокой частоты, не должно превышать 0,2 *в*.

Признаком хорошей нейтрализации является также отсутствие влияния перестройки колебательного контура усилителя высокой частоты на частоту гетеродина.

После подгонки гетеродина уместно настроить колебательные контуры первого фильтра промежуточной частоты, установленного в УКВ блоке. Для этого выход генератора сигналов, настроенного на промежуточную частоту, присоединяют через конденсатор малой емкости (не более 5 *пф*) к первичному контуру фильтра.

После этого возможна окончательная подстройка гетеродина и входных контуров с помощью УКВ генератора, подключенного к антенным гнездам.

Настройка высокочастотных контуров УКВ блока. УКВ генератор должен подключаться к антенным гнездам УКВ блока без нарушения согласования, т. е. его выходное сопротивление должно соответствовать используемому антенному входу приемника, а соединительный кабель должен обладать тем же волновым сопротивлением. Если эти условия удовлетворить невозможно, то надо применять соответствующее согласующее устройство, выполненное из безреактивных сопротивлений (рис. 11-10).

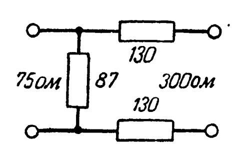


Рис. 11-10. Согласующее устройство для перехода от сопротивления 75 *ом* к сопротивлению 300 *ом*.

Настройка входных контуров может производиться как при немодулированном сигнале (по вольтметру постоянного тока, включенному в схеме детектора), так и при ЧМ сигнале (по измерителю выхода). Подстройку входных контуров осуществляют в тех же точках, в каких гетеродин сопрягается со шкалой настройки и теми же элементами подстройки, что и гетеродин.

Ввиду большой трудности полного устранения взаимного влияния настроек гетеродинного и входных контуров окончательную точную подстройку их обычно приходится вести совместно.

При настройке УКВ блока в целом может обнаружиться паразитная генерация в каскаде усиления высокой частоты. Она устраняется балансировкой соответствующей мостовой схемы (см. рис. 4-14, *б* и 4-15) путем подбора емкости нейтрализующего конденсатора C_7.

В случае самовозбуждения на промежуточной частоте следует уточнить емкость конденсатора C_6 (см. рис. 4-16, 4-18).

Обычно всякая регулировка УКВ блока влияет и на настройку его контуров. Поэтому для достижения полной настройки УКВ блока описанные здесь операции часто приходится чередовать в различном порядке и повторять по нескольку раз.

Во многих приемниках в целях упрощения конструкции входной контур УКВ блока делают неперестраиваемым. В этом случае его подстраивают на среднюю частоту УКВ диапазона.

По окончании настройки колебательных контуров УКВ канала надо внимательно прослушать работу приемника в этом диапазоне и еще раз на слух проверить отсутствие самовозбуждений, нелинейных искажений, критичность приемника к неточной настройке на станцию.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ

ИСПЫТАНИЯ ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

12-1. Общие положения

Выше, в гл. 4 были рассмотрены основные качественные характеристики радиовещательных приемников. Под испытанием приемно-усилительной аппаратуры понимается опытное определение этих характеристик, производимое для оформления технической документации на вновь изготовленный или отремонтированный аппарат или в целях определения соответствия испытываемого аппарата предъявляемым к нему требованиям. Некоторые испытания бывают необходимы перед направлением аппарата в ремонт или в процессе ремонта, так как их результаты могут служить основанием для проведения ремонта или средством выяснения присущих аппарату неисправностей.

Результаты всяких испытаний можно считать доброкачественными, если испытание проводится в так называемых «нормальных» условиях. Под этим, прежде всего, понимается соответствие источников питания требованиям нормальной эксплуатации аппарата.

Если аппарат предназначен для питания от сети переменного тока, то напряжение во время испытаний должно находиться в оговоренных заводской инструкцией пределах (обычно $+5 \div -10\%$ от номинального, установленного переключателем напряжения аппарата).

Если аппарат рассчитан на питание от батарей или аккумуляторов, то их напряжения должны также соответствовать номинальным в пределах допуска, оговариваемого инструкцией к испытываемому аппарату (обычно $+10 \div -20\%$). Батареи не должны быть разряженными.

Нормальной температурой окружающего воздуха обычно считается $20 \pm 5°$ С.

Если аппарат предназначен для работы с внешней нагрузкой, например, трансляционный усилитель низкой частоты, то при испытаниях его вместо внешних громкоговорителей может быть подключено эквивалентное сопротивление нагрузки в виде постоянного сопротивления соответствующей мощности. Величина эквивалентного нагрузочного сопротивления должна равняться полному номинальному сопротивлению нагрузки на частоте 400 *гц*.

Если в комплект испытываемого аппарата входят вынесенные громкоговорители, причем выходные трансформаторы располагаются при громкоговорителях, то аппарат испытывают вместе с этими трансформаторами, а эквивалент нагрузки присоединяют к их вторичным обмоткам.

Присоединение измерительных генераторов к антенному входу или к другим входным цепям испытываемого аппарата, требующим согласования, должно производиться также при помощи эквивалентов заменяемых этими генераторами устройств (эквивалента антенн, линий и т. п.)

12-2. Испытание усилителей низкой частоты

Определение номинальной выходной мощности требует применения генератора низкой частоты (400 *гц*), вольтметра переменного тока и измерителя нелинейных искажений. Кроме того надо знать величину полного

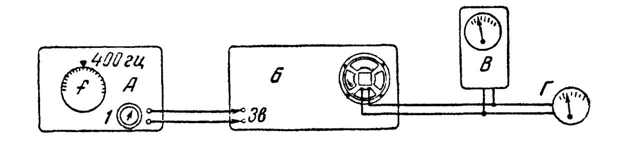


Рис. 12-1. Измерение выходной мощности.

А — генератор низкой частоты (*1* — регулятор выхода); *Б* — усилитель низкой частоты или приемник; *В* — измеритель коэффициента нелинейных искажений; *Г* — вольтметр переменного тока.

сопротивления нагрузки $Z_н$ усилителя на частоте 400 *гц*. Если усилитель работает на один громкоговоритель, то в качестве $Z_н$ можно принять сопротивление его звуковой катушки постоянному току, увеличенное на 20%.

При наличии нескольких громкоговорителей, присоединенных к одной и той же обмотке выходного транс-

форматора, определяют общее сопротивление их звуковых катушек и результат также множат на 1,2.

Если громкоговорители подключены к различным обмоткам, то их сопротивления следует пересчитать к одной из обмоток, на концах которой предполагается контролировать выходное напряжение, и сложить по закону параллельного соединения.

Если имеются высокочастотные громкоговорители, включенные через конденсаторы, срезающие низшие частоты, то на частоте 400 *гц* эти громкоговорители в расчет принимать не надо.

Схема соединения приборов для определения номинальной выходной мощности приведена на рис. 12-1.

На вход усилителя низкой частоты (на гнезда звукоснимателя радиовещательного приемника) подается чисто синусоидальный сигнал частоты 400 *гц* от высококачественного измерительного генератора низкой частоты, обладающего коэффициентом нелинейных искажений не более 0,5—1%. Величину этого напряжения постепенно увеличивают, все время определяя коэффициент нелинейных искажений $K_н$ на выходе испытываемого усилителя. Когда $K_н$ достигнет обусловленной для аппарата данного класса (см. табл. 4-1 на стр. 76) величины, отсчитывают по вольтметру напряжение на нагрузке $U_{вых}$ и рассчитывают номинальную выходную мощность по формуле

$$P_{вых} = \frac{U_{вых}^2}{Z_н}. \qquad (12\text{-}1)$$

Определить номинальную выходную мощность можно также по характеристике нелинейных искажений, построение которой описано ниже.

Если значение $K_н$ при котором следует определять номинальную выходную мощность испытываемого аппарата неизвестно, то можно принять его равным 10%.

При отсутствии измерителя искажений определение номинальной выходной мощности затруднено, но с некоторым приближением для исправных усилителей можно считать, что в среднем при $K_н = 10\%$ выходная мощность составляет 60% от максимально возможной мощности. Таким образом, определив наибольшую выходную мощность при заведомо большом выходном напряжении, можно принять номинальную мощность равной 0,6 от этой предельной.

Нормальная выходная мощность $P_{норм}$ рассчитывается по полученному значению номинальной выходной мощности $P_{вых}$ как

$$P_{норм} = 0{,}1\,P_{вых}. \qquad (12\text{-}2)$$

При нормальной выходной мощности напряжение на нагрузке составляет 0,316 от величины, измеренной в режиме номинальной выходной мощности.

При этом уровне выходного сигнала определяется большинство качественных характеристик усилителей и приемников.

Характеристика нелинейных искажений определяется при помощи того же комплекта приборов, что и номинальная выходная мощность (рис. 12-2).

Различают два типа таких характеристик: зависимость коэффициента нелинейных искажений $K_н$ от выходной мощности P (измерения проводятся на частоте 400 *гц*) и зависимость коэффициента нелинейных искажений $K_н$ от частоты (измерения проводятся в режиме нормальной выходной мощности). Получение характеристик обоих типов показано на рис. 12-2.

О нелинейных искажениях можно также судить по показаниям электронного осциллографа, развертывая на его экране получающееся на выходе усилителя напряжение при подаче на вход последнего синусоидальных колебаний от звукового генератора (рис. 12-3). При всех осциллографических исследованиях надо сначала проверять на осциллографе форму подаваемых от генератора колебаний, чтобы в случае неисправности генератора не отнести искажения кривой тока на счет исследуемого аппарата.

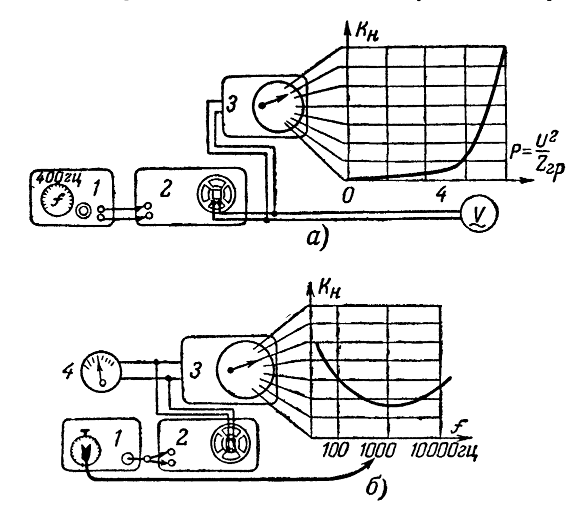


Рис. 12-2. Определение коэффициента нелинейных искажений $K_н$.

а — в зависимости от выходной мощности P; *б* — в зависимости от частоты (при $0{,}1P_{вых}$). *1* — генератор низкой частоты; *2* — усилитель низкой частоты; *3* — измеритель $K_н$; *4* — измеритель выхода.

Исследование нелинейных искажений в зависимости от частоты сигнала надо производить при установке регуляторов тембра в положения, обеспечивающие наибольшую равномерность частотной характеристики.

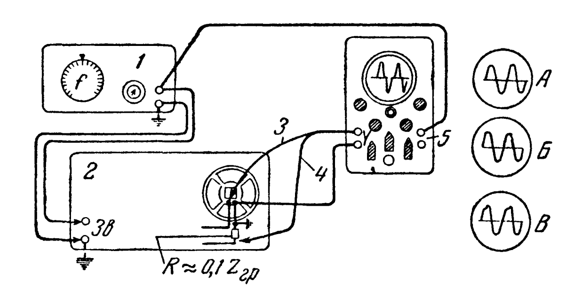


Рис. 12-3. Применение осциллографа для исследования нелинейных искажений.

1 — генератор низкой частоты; *2* — приемник или усилитель низкой частоты; *3* — для исследования формы кривой напряжения; *4* — для исследования формы кривой тока; *5* — синхронизация; *Зв* — вход звукоснимателя. *А* — искажения незаметны ($K_н \leqslant 3\%$); *Б* — незначительные искажения ($K_н = 3 \div 7\%$); *В* — заметные искажения ($K_н = 10 \div 15\%$ и больше).

Снятие амплитудной характеристики усилителя низкой частоты (рис. 12-4) также позволяет судить о нелинейных искажениях, но не требует применения измерителя нелинейных искажений.

Амплитудная характеристика выражает зависимость выходного напряжения от входного и снимается при частоте сигнала 400 *гц*. Точка, в которой заканчивается прямолинейный восходящий участок, ограничивает область выходных напряжений, в которой нелинейные искажения имеют малую величину.

При снятии амплитудной характеристики регулятор громкости устанавливается в положение наибольшего усиления.

Снятие частотной характеристики поясняет рис. 12-5. Регулятор громкости при этом должен быть установлен в положение наибольшей громкости, а регуляторы тембра — на пропускание полной полосы частот.

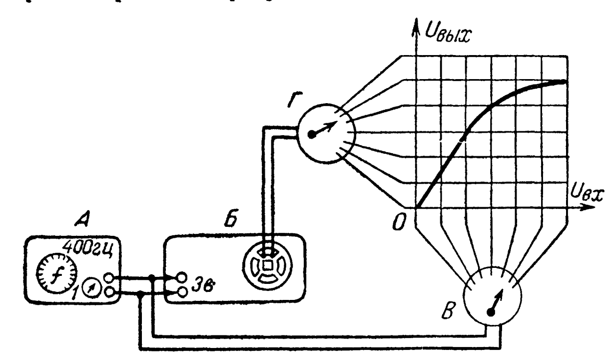


Рис. 12-4. Снятие амплитудной характеристики.

А — генератор низкой частоты (*1* — регулятор выхода), *Б* — усилитель низкой частоты или приемник (*Зв* — гнездо звукоснимателя); *В* — измеритель входного сигнала; *Г* — измеритель выходного сигнала.

Установив частоту звукового генератора 400 *гц*, подводимое ко входу усилителя напряжение подбирают регулятором уровня генератора так, чтобы на выходе усилителя получилась нормальная выходная мощность в диапазоне частот от 20—30 *гц* до 15—20 *кгц* и отмечают, как изменяется при различных частотах напряжение на выходе усилителя. По полученным данным строят график, по горизонтальной оси которого откладываются частоты, а по вертикальной — выходные напряжения или мощности (рис. 12-5). Весьма распространено вертикальную ось градуировать в децибелах, причем уровень на частоте 400 *гц* обозначают нулем, вверх от него откладывают положительные значения уровней (+*дб*), а вниз — отрицательные (—*дб*).

Для определения эффективности регуляторов тембра аналогично снимают частотные характеристики при крайних и нескольких промежуточных положениях этих регуляторов.

Полоса пропускаемых частот обычно отсчитывается на уровне — 6 *дб*, т. е. при ослаблении усиления крайних частот по напряжению в два раза по сравнению с усилением на частоте 400 *гц*. Ее легко определить из частотной характеристики усилителя (на рис. 12-5 обозначена *П*).

Чувствительность усилителя (чувствительность приемника с гнезд звукоснимателя) определяется напряжением сигнала при частоте 400 *гц*, которое необходимо подать на вход усилителя низкой частоты для получения номинальной выходной мощности (рис. 12-6). Так как это напряжение обычно измеряется десятыми или даже сотыми долями вольта и непосредственно измерить его трудно, то напряжение ко входу усилителя подают с помощью точного делителя напряжения (например, магазина образцовых сопротивлений) или через понижающий трансформатор с известным коэффициентом трансформации. К делителю же или трансформатору подается от звукового генератора напряжение, которое точно может быть измерено ламповым или иным вольтметром переменного тока. Зная, во сколько раз уменьшено подведенное ко входу усилителя напряжение, легко определить и чувствительность усилителя.

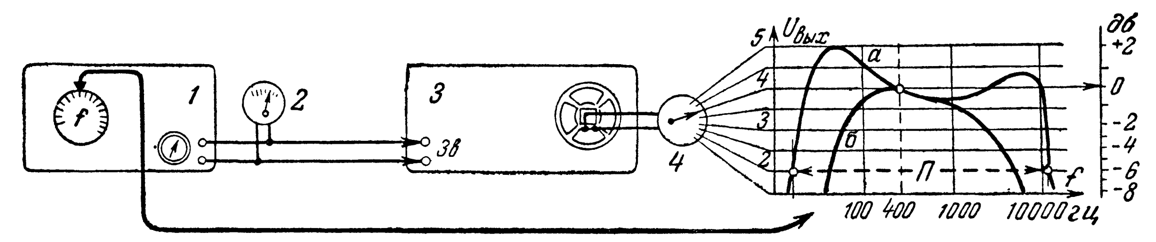


Рис. 12-5. Снятие частотной характеристики усилителя низкой частоты.

1 — генератор низкой частоты; *2* — контроль напряжения (неизменного) на входе для получения при 400 *гц* на выходе $0{,}1P_{вых}$; *3* — усилитель низкой частоты или приемник; *4* — измеритель выхода; *Зв* — вход звукоснимателя. *а* — регуляторы тембра в положениях самой широкой полосы пропускания; *б* — регуляторы тембра в положениях самой узкой полосы пропускания.

вольтметр на выходе при этом должен показывать напряжение

$$U_{норм} = 0{,}316\sqrt{P_{вых}Z_н}, \qquad (12\text{-}3)$$

где $P_{вых}$ — номинальная выходная мощность (при $K_н = 10\%$).

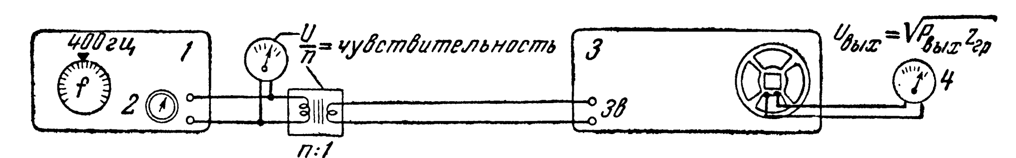


Рис. 12-6. Измерение чувствительности усилителя низкой частоты или приемника (с гнезд звукоснимателя).

1 — генератор низкой частоты; *2* — регулятор выхода; *3* — усилитель низкой частоты или приемник; *4* — измеритель выхода; *Зв* — вход звукоснимателя.

По измерителю выхода звукового генератора замечают, какой при этом потребовался уровень сигнала. Поддерживая этот уровень, перестраивают генератор

При измерении чувствительности регулятор громкости должен быть поставлен в положение наибольшей громкости, а регуляторы тембра — на полную полосу пропу-

скаемых частот. Напряжение на выходе в соответствии с номинальной выходной мощностью должно быть

$$U_{\text{вых}} = \sqrt{P_{\text{вых}} Z_{\text{н}}}.$$

Характеристика регулятора громкости выражает зависимость коэффициента усиления усилителя от угла поворота рукоятки регулятора громкости.

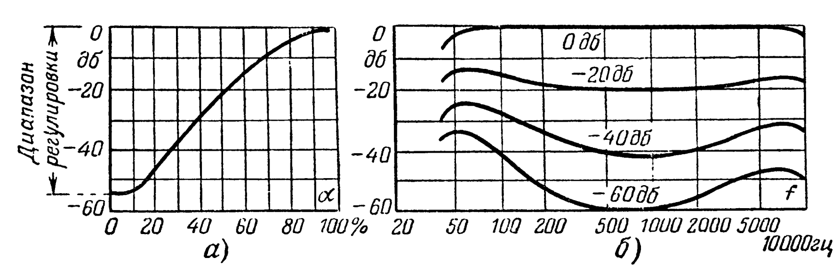


Рис. 12-7. Характеристики регулятора громкости.

а — зависимость ослабления от угла поворота α; *б* — характеристики тонкомпенсации (для четырех положений регулятора громкости).

Обычно хорошие регуляторы громкости обладают очень широкими пределами изменения коэффициента усиления и снять их характеристику при неизменном входном напряжении не удается.

Поэтому на практике, меняя положение регулятора громкости, одновременно изменяют и подводимое от генератора низкой частоты напряжение, поддерживая неизменным (нормальным) выходное напряжение усилителя.

Полученные таким способом значения входного напряжения для различных положений регулятора громкости пересчитывают затем в децибелы, принимая за 0 *дб* входное напряжение в положении максимального коэффициента усиления. Рассчитанные для остальных точек значения децибел снабжают знаком минуса и строят кривую типа на рис. 12-7, *а*.

Измерения проводят на частоте 400 *гц*.

Если регулятор громкости тонкомпенсированный, то для каждого из выбранных его положений снимают частотную характеристику и все полученные характеристики наносят на одну координатную сетку, смещая их друг относительно друга на величину ослабления, даваемого регулятором на частоте 1000 *гц* (рис. 12-7, *б*). При снятии характеристик тонкомпенсации регуляторы тембра предварительно устанавливают в такие положения, при которых частотная характеристика, соответствующая максимальному усилению, имеет наиболее протяженный горизонтальный участок (характеристика 0 *дб* на рис. 12-7, *б*).

12-3. Основные испытания приемников АМ

Диапазон принимаемых волн устанавливается с помощью сигнал-генератора определением частот, принимаемых радиоприемником на краях шкалы настройки на каждом диапазоне. Определяя крайние частоты коротковолнового диапазона, надо проследить, как это указывалось на стр. 193, чтобы принимаемая частота не была зеркальной. Следует отметить, что в инструкциях заводских радиоприемников указывается неполный диапазон принимаемых волн: крайние частоты его оказываются не на самых краях шкалы, а несколько отступая от них. При испытании таких приемников важнее проверить совпадение истинной настройки с градуировкой шкалы, что достаточно делать на каждом диапазоне в двух точках, отступая на 1/5 шкалы от начала и конца ее.

Измерение чувствительности приемника. Наряду с реальной чувствительностью, определение которой было дано в гл. 4, в радиоремонтной практике часто пользуются понятием абсолютной чувствительности.

Абсолютная чувствительность определяется напряжением высокой частоты, которое надо подать на вход приемника, чтобы получить на его выходе нормальную мощность $P_{\text{норм}}$. Для определения абсолютной чувствительности приемника к его антенному гнезду через эквивалент антенны подается от генератора стандартных сигналов напряжение высокой частоты, модулированное напряжением с частотой 400 *гц* при глубине модуляции 30% (рис. 12-8).

При отсутствии нормального эквивалента антенны можно, ухудшив точность измерений, включить один конденсатор на 250 *пф* (на средних и длинных волнах) или одно сопротивление на 250 *ом* (на коротких волнах). Настраивая затем точнейшим образом приемник на подаваемую от генератора частоту, изменяют аттенюатором выходное напряжение генератора, пока при полностью введенном регуляторе громкости приемника выходная мощность не составит $P_{\text{норм}}$. Чувствительность приемника определяется перемножением числа микровольт, отсчитанных на шкале плавного аттенюатора, на коэффициенты, избранные переключателем и делителем выходного напряжения генератора стандартных сигналов.

Однако такое измерение имеет смысл, если собственные шумы приемника невелики и их вкладом в измеряемую выходную мощность можно пренебречь.

Так бывает далеко не у всех приемников. У приемников с большим усилением по промежуточной и высокой частоте при установке регулятора громкости на максимум случается, что выходная мощность собственных шумов

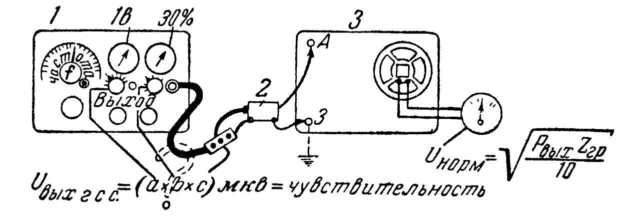


Рис. 12-8. Измерение чувствительности приемника:

1 — генератор стандартных сигналов (ГСС-6); *2* — эквивалент антенны; *3* — приемник.

на некоторых диапазонах даже превышает значение нормальной выходной мощности.

Поэтому более объективной характеристикой оказывается реальная чувствительность, значения которой для приемников различных классов фигурируют в ГОСТ'е (см. табл. 4-1 на стр. 76).

Реальная чувствительность определяется при установке регуляторов тембра и полосы пропускания в положения, соответствующие самой узкой полосе пропускания. Этим достигается снижение уровня шумов на выходе и повышение реальной чувствительности приемника.

Измерение производится по прежней схеме (рис. 12-8), но отсчет напряжения сигнала, создаваемого генератором стандартных сигналов (ГСС), осуществляют лишь при условии, что при включенной модуляции выходная мощность приемника составляет $P_{\text{норм}}$, а при выключенной модуляции выходная мощность собственных шумов в 100 раз меньше нормальной (т. е. напряжение шумов в 10 раз меньше напряжения полезного сигнала).

Это соотношение достигается подбором как величины сигнала ГСС, так и положения регулятора громкости приемника.

Для облегчения поиска требуемого положения регуляторов рекомендуется после настройки приемника и ГСС в резонанс выключить модуляцию и регулятором громкости установить выходное напряжение шумов, 0,1 $U_{норм}$. Затем, включив модуляцию ГСС, надо подобрать такую величину сигнала ГСС, которая даст на выходе приемника нормальное напряжение. После этого снова выключают модуляцию и уточняют положение регулятора громкости приемника и т. д.

Чувствительность приемника на различных диапазонах и в разных частях одного и того же диапазона в общем случае неодинакова, поэтому измерение чувствительности производят многократно на различных частотах. Слишком сильное изменение чувствительности при переходе с одного диапазона на другой или при перестройке приемника в пределах одного диапазона указывает на плохое сопряжение высокочастотных контуров и гетеродинного контура или на неисправность высокочастотных контуров.

Избирательность по соседнему каналу определяется ослаблением сигнала при расстройке на 10 *кгц*. Для ее измерения нужен генератор стандартных сигналов с достаточно подробной шкалой частот или с градуированным верньером, так как при этом измерении важна возможность незначительно изменять частоту генератора в одну и другую сторону от выбранной и определять расстройку с точностью до одного килогерца. Для этой цели вполне подходит генератор типа ГСС-6; у него ручка установки частоты снабжена градуированным верньером, по делениям шкалы которого можно в любой точке избранного диапазона определить расстройку при повороте верньера на одно деление (поделив изменение частоты при полном обороте ручки верньера на число делений шкалы верньера).

Сначала проводят измерение реальной чувствительности приемника. Затем, не меняя положений органов управления приемником, изменяют частоту ГСС на 10 *кгц* и увеличивают его сигнал до тех пор, пока выходная мощность приемника вновь не достигнет значения $P_{норм}$.

Отношение напряжений входного сигнала, отсчитанных на ГСС, при точной настройке и при расстройке, характеризует избирательность по соседнему каналу. Это отношение принято переводить в децибелы.

При измерении избирательности у приемников, снабженных системой АРУ, эту систему на время измерения надо выключать, обеспечивая, однако, поступление постоянного сеточного смещения на управляющие сетки регулируемых ею ламп.

Измерение полосы пропускаемых частот. Исходное положение органов управления приемником и ГСС соответствует измерению реальной чувствительности приемника. После этого даваемое генератором стандартных сигналов напряжение повышают настолько, чтобы напряжение на выходе приемника возросло вдвое, т. е. было $2U_{норм}$ и, расстраивая генератор в одну и другую сторону от резонанса, замечают, насколько надо расстроить генератор для получения на выходе приемника прежнего напряжения $U_{норм}$ (при том же положении органов управления приемником). Разность между полученными при этом двумя частотами (выше резонансной и ниже резонансной) называется полосой пропускаемых частот высокочастотной части приемника.

Если приемник снабжен регулятором полосы пропускаемых частот, то это измерение проводят при двух крайних положениях его.

Снятие кривой избирательности осуществляется тем же способом, что и измерение полосы пропускаемых частот, но при увеличении напряжения ГСС не только в 2 раза, а и в 5, 10, 20, 50, 100 и т. д. раз. При каждом измерении замечают частоты, на которых приемник дает прежнее выходное напряжение, т. е. $U_{норм}$ (рис. 12-9). По этим данным строится график зависимости отношения напряжений сигналов от расстройки, который называется кривой избирательности. Часто по вертикальной оси вместо отношения амплитуды сигнала при расстройке к амплитуде сигнала при резонансе откладывается необходимое повышение уровня сигнала в децибелах.

Система АРУ во время этих измерений должна быть выключена.

При этом часто кривую избирательности переворачивают вверх горбом.

Из кривой избирательности легко определить и избирательность по соседнему каналу и полосу пропускания высокочастотной части приемника.

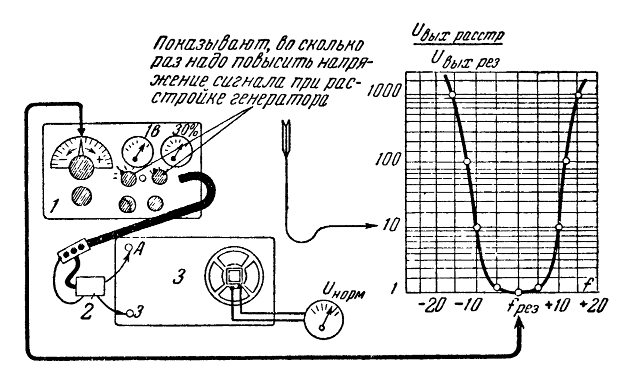


Рис. 12-9. Снятие кривой избирательности.

1 — генератор стандартных сигналов; *2* — эквивалент антенны; *3* — приемник.

При наличии в приемнике регулятора полосы пропускания частот кривые избирательности целесообразно снимать по крайней мере при двух крайних его положениях. Появление перекосов и ярко выраженной несимметрии в районе впадины (горба) свидетельствует о неточной настройке колебательных контуров приемника или устройства, регулирующего полосу пропускания.

Избирательность от сигналов с частотой, равной промежуточной, зависит от контуров высокой частоты и от наличия заградительного контура в цепи антенны, настроенного на промежуточную частоту, и обычно (при промежуточной частоте 465 *кгц*) она особенно плоха в конце средневолнового и в начале длинноволнового диапазонов, где частота контуров высокой частоты приближается к промежуточной частоте, а потому получаются наиболее благоприятные условия для проникновения сигналов этой частоты. Поэтому целесообразнее всего определять рассматриваемую избирательность в двух этих наиболее опасных точках.

Для этого сначала измеряют чувствительность приемника на избранной частоте, а затем перестраивают генератор стандартных сигналов на промежуточную частоту и, не сбивая органов управления приемником, увеличивают напряжение сигнала, добиваясь прежней выходной мощности приемника ($P_{норм}$).

Отношение напряжения первого (полезного) сигнала к напряжению второго (сигнала помехи) и выражает собой избирательность приемника от сигнала промежуточной частоты.

Нужно иметь в виду, что ряд радиовещательных станций работает на частотах ровно вдвое меньших, чем применяемая в супергетеродинах промежуточная частота, так что вторая гармоника этих станций совпадает с промежуточной частотой. Поэтому эксплуатация приемника с плохой избирательностью от сигнала с промежуточной частотой в городах, где работают такие радиостанции, становится невозможной.

Избирательность по зеркальному каналу измеряется отношением напряжения полезного сигнала (основной частоты) к напряжению сигнала помехи (зеркальной частоты) при неизменной настройке приемника и одинаковой нормальной выходной его мощности. Наихудшая избирательность по зеркальному каналу получается на самой высокой частоте диапазона принимаемых волн (в начале коротковолнового поддиапазона), где и важнее всего ее измерять.

Кривая верности („сквозная" частотная характеристика) снимается так же, как и частотная характеристика усилителя низкой частоты, но звуковой генератор присоединяется не ко входу усилителя, а в качестве внешнего модулятора к генератору стандартных сигналов. Последний же, настроенный в резонанс с приемником, присоединяется к гнезду его антенны через эквивалент антенны (рис. 12-10). При этом АРУ в приемнике не выключается, регуляторы тембра и полосы становятся в положение, соответствующее наиболее широкой полосе пропускаемых частот.

Испытание надо производить при заведомо завышенном напряжении сигнала (чтобы избавиться от влияния помех); в то же время выходная мощность (при частоте модуляции 400 *гц*) должна составить $0{,}25P_{\text{вых}}$ (этому соответствует выходное напряжение приемника вдвое меньше номинального).

При таких условиях у достаточно чувствительных приемников обычно оказывается невозможным установить регулятор громкости в положение наибольшей громкости. Во время всего испытания надо следить за тем, чтобы генератор стандартных сигналов и приемник были точно настроены в резонанс (обычно на 1000 *кгц*), напряжение несущей оставалось постоянным и глубина модуляции была равна 30%.

12-4. Особенности испытания приемников ЧМ

Общие принципы испытаний радиовещательных приемников в диапазоне УКВ с частотной модуляцией те же, что и для приемников АМ сигналов.

Если выходное сопротивление используемого ГСС равно сопротивлению УКВ антенны, на которое рассчитан вход УКВ блока приемника, то никаких дополнительных эквивалентов антенны применять не надо. Однако соединение ГСС с антенным входом приемника надо осуществлять при помощи кабеля с таким же волновым сопротивлением.

Если выходное сопротивление ГСС не равно сопротивлению УКВ антенны, то следует применять согласующее устройство (см. например, рис. 11-10).

Стопроцентной модуляцией для радиовещательных станций УКВ ЧМ принята девиация (отклонение) частоты на ±75 *кгц* от несущей. Испытания, которые при АМ проводятся с коэффициентом модуляции 0,3 при ЧМ проводят с девиацией ±15 *кгц*.

Нормальная частота модуляции для УКВ трактов принята 1000 *гц* (вместо 400 *гц* для АМ трактов).

Соседним каналом в диапазоне УКВ считается частота, отстоящая от принимаемой на 250 *кгц*. Это надо иметь в виду при измерении избирательности по соседнему каналу в диапазоне УКВ.

Измерение подавления паразитной амплитудной модуляции является специфическим испытанием приемников с УКВ ЧМ диапазоном. Оно имеет целью выяснение того, во сколько раз чувствительность приемника к АМ сигналам хуже чувствительности к ЧМ сигналам, и характеризует помехоустойчивость приемника.

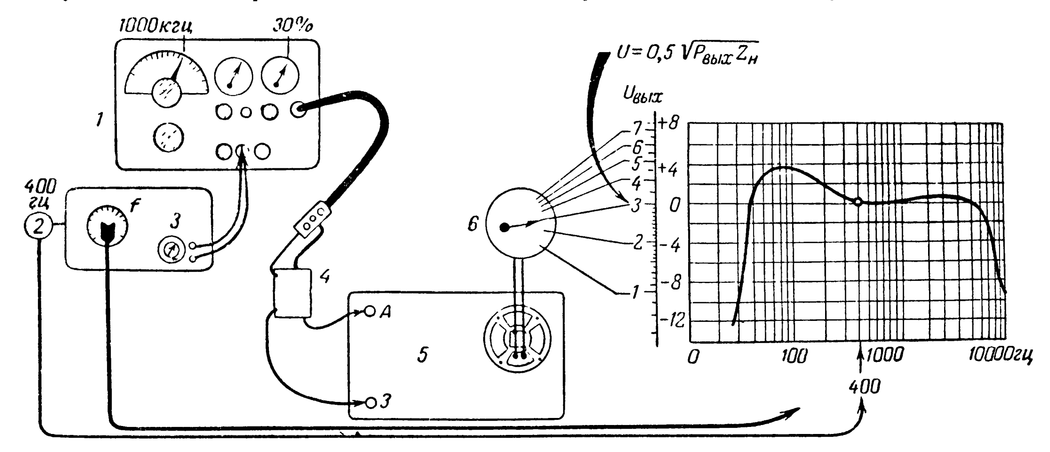


Рис. 12-10. Снятие характеристики верности.

1 — генератор стандартных сигналов; *2* — генератор звуковой частоты; *3* — регулятор выхода; *4* — эквивалент антенны; *5* — приемник; *6* — измеритель выхода. Генератор стандартных сигналов устанавливают так, чтобы при модуляции в 30% и частоте 400 *гц* выходная мощность составила $0{,}25\ P_{\text{вых}}$. В дальнейшем изменяют только низкую частоту и поддерживают регулятором выхода генератора низкой частоты глубину модуляции в 30%.

Для этого измерения сначала воспроизводят режим измерения реальной чувствительности приемника в диапазоне УКВ (девиация ±15 *кгц*, частота модуляции 1000 *гц*, выходная мощность нормальная). Затем частотную модуляцию ГСС выключают и включают амплитудную модуляцию (частота модуляции 1000 *гц*, коэффициент 0,3) и измеряют выходное напряжение приемника при расстройке на ±50 *кгц* от резонанса.

Подавление паразитной АМ определяют отношением выходного напряжения приемника при приеме ЧМ сигнала к максимальному выходному напряжению при приеме АМ сигнала. Это отношение принято выражать в виде отрицательного количества децибел.

12-5. Дополнительные испытания приемно-усилительной аппаратуры

Расход энергии по целям питания определяется потребляемой аппаратом активной мощностью. Измерение активной мощности производится предназначенными для этого ваттметрами. При отсутствии таковых измеряются напряжение U сети и потребляемый аппаратом от источника питания ток I. Тогда при постоянном токе мощность аппарата $P = UI$, а при переменном токе $P = 0{,}8\,UI$, где 0,8 — среднее значение коэффициента мощности сетевой радиоаппаратуры.

Для батарейных аппаратов надо учитывать и мощность $P_а = U_а I_а$ в анодной цепи и мощность $P_н = U_н I_н$ в цепи накала, причем $U_а$ и $U_н$ должны соответствовать номинальным напряжениям источников питания для данного аппарата. Измерения производят дважды: при отсутствии сигнала и при наличии его.

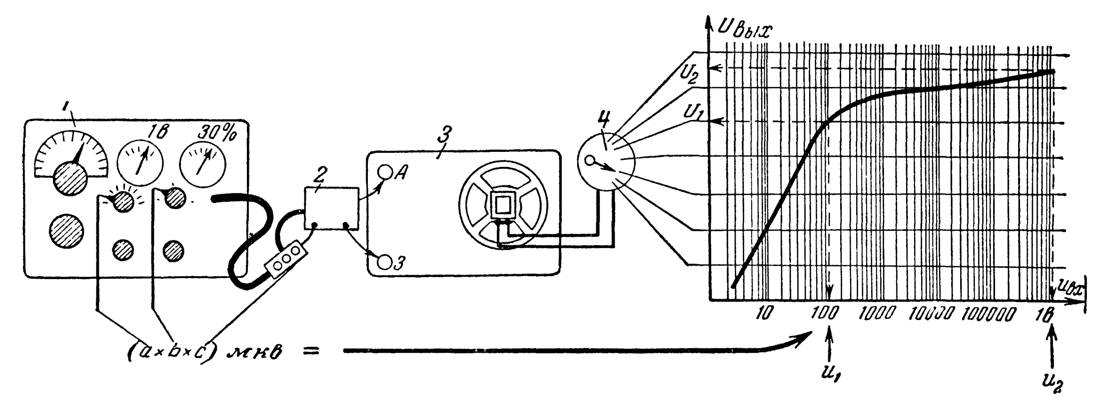


Рис. 12-11. Испытание системы АРУ.

1 — генератор стандартных сигналов; 2 — эквивалент антенны; 3 — приемник; 4 — измеритель выхода.

Коэффициент фона обычно измеряют при отсутствии сигнала на входе приемника или усилителя, для чего гнезда антенны и заземления (у приемников) или гнезда входа (у усилителей низкой частоты) замыкают накоротко и измеряют напряжение фона $U_ф$ на звуковой катушке громкоговорителя при полностью введенном регуляторе громкости. Регуляторы тембра следует устанавливать в положения, создающие наибольший уровень фона.

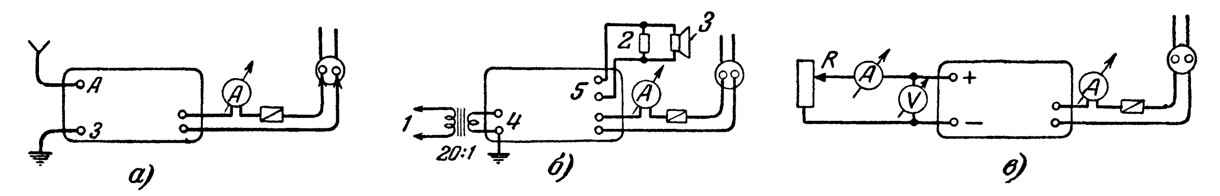


Рис. 12-12. Продолжительные испытания радиоаппаратуры.

а — приемника; б — усилителя низкой частоты (1 — городская трансляционная сеть, 2 — нормальное нагрузочное сопротивление, 3 — контрольный громкоговоритель, 4 — вход усилителя, 5 — выход усилителя); в — выпрямителя (R — нормальное нагрузочное сопротивление).

Если измеренное напряжение фона отнести к напряжению, получающемуся при номинальной выходной мощности, и умножить на 100, то получим коэффициент фона (в процентах)

$$K_ф = \frac{U_ф}{\sqrt{P_{вых} Z_{гр}}} 100. \qquad (12\text{-}4)$$

Вместо коэффициента фона иногда указывают уровень фона в децибелах.

Испытание системы АРУ (рис. 12-11) производится обычно при изменении напряжения входного сигнала от его значения, соответствующего чувствительности приемника, до значения 100 000 *мкв* (0,1 *в*). Сначала от генератора подают сигнал с наибольшим напряжением (0,1 *в*) и, настроив приемник точно в резонанс, регулятором громкости устанавливают напряжение на выходе приемника, соответствующее нормальной мощности (0,1 $P_{вых}$). Затем, уменьшая напряжение сигнала в 10, 100 и т. д. раз, записывают всякий раз величину выходного напряжения приемника. По мере приближения напряжения сигнала к величине чувствительности приемника, его начинают уменьшать менее резко (в 5, затем в 2 раза).

По полученным данным строится график зависимости выходного напряжения приемника от напряжения сигнала на входе. Этот график выражается обычно кривой линией с более или менее явно выраженным переломом. Точка перелома соответствует началу работы системы АРУ.

Отметив на полученном графике величины входных сигналов u_1 (в точке перегиба) и u_2 (в конце снятой характеристики), а также соответствующие им выходные напряжения U_1 и U_2, определяют, во сколько раз увеличивается выходное напряжение $\frac{U_2}{U_1}$ при увеличении входного напряжения в $\frac{u_2}{u_1}$ раз. Это отношение в достаточной мере характеризует работу системы АРУ. Обычно у супергетеродинов 2-го класса получается трехкратное изменение выходного напряжения $\left(\frac{U_2}{U_1}=3\right)$ при изменении входного напряжения в 500 раз ($u_1 = 200$ *мкв* и $u_2 = 100\,000$ *мкв*).

Отношения $\frac{U_2}{U_1}$ и $\frac{u_2}{u_1}$ часто выражают в децибелах, показывая, на сколько децибел повышается уровень сигнала на выходе при повышении уровня входного сигнала на 60 (у супергетеродинов 1-го класса) или на 26 *дб* (у прочих приемников). 60 *дб* соответствует повышению входного напряжения $\frac{u_2}{u_1}$ в 1000 раз, а 26 *дб* — в 20 раз.

Кроме описанных испытаний радиоприемники могут подвергаться испытаниям на стабильность частоты гетеродина, на влияние колебаний питающего напряжения,

а также колебаний температуры, на тряску (передвижная аппаратура, устанавливаемая на транспорте) и другим специфическим испытаниям. Но в условиях радиомастерской эти испытания, как правило, не производятся, и мы не будем останавливаться на них.

Укажем, однако, на форму испытания, весьма полезную для отремонтированной или вновь смонтированной аппаратуры, заключающуюся в *продолжительном испытании* радиоаппарата в работе.

При таком испытании любой радиоприбор включается в работу при нормальной нагрузке на несколько часов, а иногда на несколько суток (рис. 12-12). При этом следить за работой радиоприемника или усилителя низкой частоты можно без помощи специальных приборов (к генераторам или приборам питания достаточно присоединить вольтметр или амперметр, показания которых надо периодически записывать).

Если в процессе продолжительного испытания в работе радиоаппарат не изменил своих качеств, о чем можно судить по короткому заключительному испытанию, и никаких неисправностей в нем не обнаруживалось, то это является почти полной гарантией того, что данный радиоаппарат обеспечит при нормальных условиях его эксплуатации надежную работу в течение длительного времени.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ

РАДИОМАСТЕРСКАЯ

Единой схемы организации радиомастерских не существует, так как она определяется предполагаемым масштабом производства, поставленными перед ней задачами, условиями помещения и т. п. Поэтому ниже дана только в общих чертах примерная схема организации мастерской средних размеров, задачей которой является проверка, обнаружение неисправностей и ремонт радиоприемников и усилителей.

13-1. Организация радиомастерской

Помещение для приема аппаратуры, оно же и для выдачи ее после ремонта, должно находиться перед помещением мастерской.

Записывать принимаемые изделия целесообразно в порядке очередных номеров, которыми помечаются как их ремонтные паспорта, так и приемные квитанции. На каждый принятый в ремонт аппарат целесообразно заполнять ремонтный паспорт, в который помимо типа приемника и его заводского номера записывают также лампы, доставленные с ним вместе, и прочие запасные принадлежности.

Хранить принятые приборы нужно на стеллажах, полки которых имеют высоту, подходящую к нормальной высоте приемников, и глубокие настолько, чтобы по ширине полки устанавливался только один прибор. Целесообразно ставить приборы задней стенкой вперед и прикреплять к ним с этой стороны ярлыки с четко различимыми ремонтными номерами.

С полок хранения приборы в порядке ремонтных номеров поступают в мастерскую и прежде всего проходят предварительное испытание. По данным предварительного испытания можно своевременно заказать или выписать нужные для замены детали, недостача которых может задержать ремонт. Кроме того, предварительное испытание покажет, нужно ли для выполнения необходимых ремонтных работ разбирать прибор или достаточно для приведения его в исправность сменить лампы или устранить мелкие неисправности, не требующие демонтажа (смена предохранителя, сетевого шнура и т. п.).

После предварительного испытания приборы поступают на рабочее место для обнаружения неисправностей. В небольшой радиомастерской оно может быть объединено с местом радиоремонта, но в большой мастерской должно состоять из ряда специальных одинаково оборудованных рабочих мест. Дальнейшее подразделение ремонтных работ в больших мастерских можно представить в виде устройства особых рабочих мест для механического ремонта, мест для разборки и сборки приемников, мест для смены деталей, для настройки контуров и т. д. Здесь, очевидно, потребуются полки для хранения пустых ящиков и демонтированных для ремонта деталей, причем каждая из демонтированных частей должна быть помечена одним и тем же ремонтным номером.

После ремонта и сборки производится заключительное испытание (там же, где было произведено предварительное испытание), а затем прибор поступает на хранение и после калькуляции на основании записей в ремонтном паспорте (израсходование материалов, времени и т. д.) стоимости ремонта подготавливается к выдаче или отсылке.

Естественно, что специфика задач, стоящих перед планируемой мастерской, может заставить отступить от такой схемы и организовать мастерскую в соответствии с местными обстоятельствами.

13-2. Оборудование радиомастерской

Разнообразие и количество инвентаря и технического оснащения определяются размерами проектируемой или расширяемой мастерской.

Рабочие столы для производства ремонтных работ должны быть достаточно прочны. Рабочие места должны быть выбраны по возможности так, чтобы при дневном свете не было надобности в дополнительном освещении. Каждое рабочее место, кроме общего освещения, должно располагать настольной или стенной лампой, приспособленной для освещения в любых направлениях. Хорошее, в меру яркое освещение является непременным условием каждой работы.

Необходимы также распределительный силовой щиток и установка для получения различных напряжений постоянного и переменного тока (трансформатор, выпрямитель с делителем напряжения и т. п.). Если в мастерской применяются умформеры, то они должны быть установлены в соседнем или подвальном помещении, чтобы не вызывать в рабочем помещении электрических и звуковых помех.

Отдельные рабочие места снабжаются необходимыми при ремонте аппаратуры электрическими устройствами и инструментальным ящиком с инструментами, надобность в которых обнаружилась на опыте (отвертки, ключи, плоскогубцы, пинцеты и др.).

Для испытательных работ пригодны любые столы (конторские, письменные и т. п.), особенно если места для них отведены посреди помещения. В их боковых ящиках удобно хранить ручной инструмент, небольшие измерительные приборы, необходимые при испытаниях деталей, справочники, схемы и книги.

Оборудовать ли рабочее место, где производятся испытания, щитками, на которых сосредоточены все необходимые приборы, или отдавать предпочтение отдельным измерительным приборам — дело личного вкуса и опыта. Чаще предпочитают пользоваться разрозненными приборами, так как их легко заменять и ремонтировать.

Щитки же большей частью служат для подачи на рабочее место токов и напряжений.

На таких распределительных щитках (рис. 13-1) монтируют гнездо, к которому подведен отвод от антенны, заградительный фильтр для ослабления сигналов местных радиостанций и еще одно антенное гнездо, присоединенное после этого фильтра, несколько гнезд для заземления,

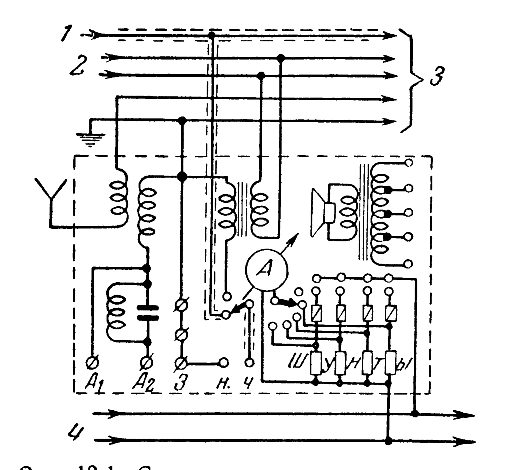


Рис. 13-1. Схема распределительного щитка.

1 — от звукоснимателя; *2* — от трансляционной сети, *3* — к следующему рабочему месту; *4* — электросеть.

контрольный громкоговоритель с секционированным выходным трансформатором, отводы от которого подведены к маркированным гнездам, гнезда, к которым подведено испытательное напряжение звуковой частоты для проверки усилителей (от трансляционной сети или граммофонного

аппаратура для испытания и налаживания приемников (высокочастотный и низкочастотный генераторы, ламповый вольтметр, граммофонный проигрыватель и т. п.).

Полезно также иметь специальный стол (рис. 13-2), для продолжительных испытаний (испытательный стенд) с необходимыми для подачи питания гнездами и отводами антенны и заземления.

Для проведения испытаний высокочувствительных приемников, особенно для измерения реальной чувствительности их, полезно иметь в мастерской одно рабочее место в экранированной камере.

Упрощенная конструкция камеры, экранированной при помощи металлических сеток, натягиваемых на деревянный каркас, приведена на рис. 13-3. Внутрь такой камеры вводится только сеть переменного тока, причем ввод ее осуществляется через эффективно действующий широкополосный заградительный фильтр.

Внутренняя и внешняя сетки не должны иметь замыканий между собой нигде, кроме одной точки, в которой они умышленно соединяются проводником для заземления. К внешней и внутренней сеткам присоединяются с помощью гибких лент из тонкой гартованной латуни соответствующие сетки, которыми обшивается входная дверь в камеру.

Помещение для механических ремонтных работ должно быть изолировано от общего помещения радиомастерской. В нем устанавливаются станки и верстаки и производятся все механические слесарные работы. Кроме того, должно быть предусмотрено безопасное в пожарном отношении помещение для хранения огнеопасных материалов (ацетон, лаки, спирт и т. п.).

При мастерской должна быть кладовая запасных материалов.

Минимальное техническое оснащение рабочего места для радиоремонта состоит из распределительного щитка вышеописанного типа, универсального вольтмиллиамперметра и набора монтажных инструментов (паяльник, пинцет, отвертки, плоскогубцы и кусачки).

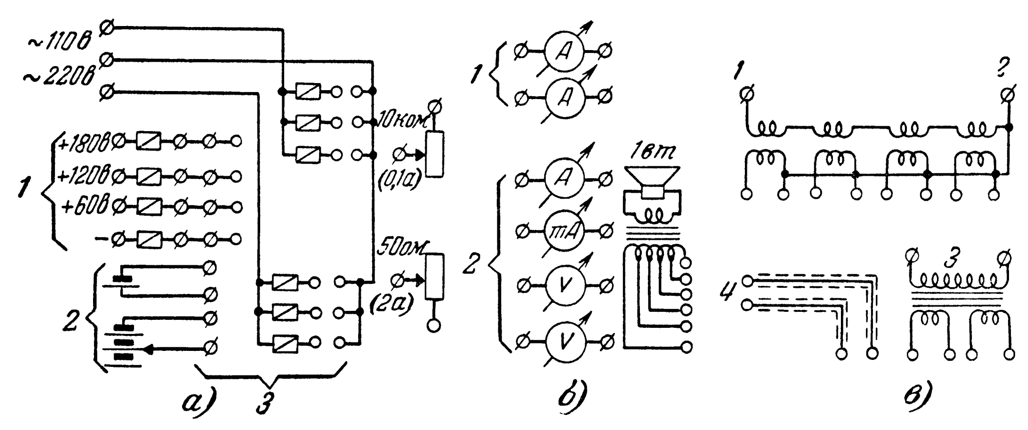


Рис. 13-2. Схема оборудования стола для продолжительных испытаний радиоаппаратуры.

а — схема распределения питания (*1* — от аккумуляторов или выпрямителя; *2* — местные батареи накала, *3* — зажимы и гнезда для включения аппаратуры); *б* — контрольные приборы (*1* — приборы переменного тока; *2* — приборы постоянного тока); *в* — схема подачи сигнальных напряжений (*1* — антенна; *2* — земля; *3* — трансляционная сеть; *4* — от звукоснимателя).

проигрывателя) и силовые штепсельные розетки для постоянного и переменного тока с предохранителями, подключаемые при помощи переключателя к установленному тут же ваттметру или амперметру.

Кроме рабочего места для предварительного испытания в мастерской устраивается, по крайней мере, два специальных измерительно-испытательных стола, на одном из которых сосредоточивается измерительная аппаратура для испытания отдельных деталей (мосты, испытатель ламп, измеритель емкости, мегомметр и т. п.), а на другом—

Для ремонта радиоаппаратуры необходим следующий минимум измерительных приборов: 1) сигнал-генератор; 2) комбинированный вольтмиллиамперметр на постоянный и переменный ток (он же измеритель выхода) с возможно меньшим потреблением тока и 3) амперметр переменного тока до 2 *а*. Кроме того, необходим элементарный набор инструмента для подстройки и ремонта, проигрыватель, контрольный громкоговоритель и щиток питания. Затем при первой же возможности необходимо приобрести генератор низкой частоты, ламповой вольтметр и осциллограф.

Перечисленная аппаратура может быть самодельной, так как особенно высокой точности для целей ремонта от нее не требуется (конструкции, доступные для самостоятельного изготовления, неоднократно описывались в брошюрах «Массовой радиобиблиотеки» и на страницах журнала «Радио»).

По мере увеличения объема работ мастерской нужно расширить ее оборудование, как радиотехническое, так и механическое.

Ниже даются примерные списки желательного оборудования радиомастерской и отдельных рабочих мест.

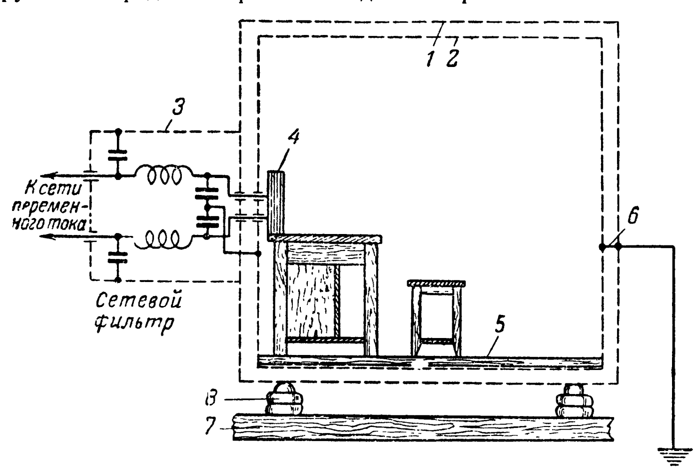


Рис. 13-3. Устройство экранированной камеры.

1 — внешняя латунная сетка; *2* — внутренняя латунная сетка; *3* — экран сетевого фильтра; *4* — силовой щиток; *5* — деревянный настил внутри камеры; *6* — соединение внутренней и внешней сеток (в одной точке) для заземления; *7* — пол помещения, в котором установлена экранированная камера; *8* — фарфоровые изоляторы.

Инвентарь мастерской. 1. Рабочие столы с выдвижными ящиками. 2. Письменные (конторские) столы для испытательно-измерительных целей. 3. Стеллажи и полки для хранения ремонтируемой аппаратуры. 4. Инструментальный шкаф. 5. Шкаф для запасных деталей и материалов с полками и выдвижными ящиками (на внутренней стороне дверей шкафа укрепляется список хранящихся деталей). 6. Шкаф книжный или стойка для папок, схем и справочной литературы. 7. Стенные или настольные лампы. 8. Общий распределительный щит и устройство, снабжающее все рабочие места постоянным и переменным током (силовой пульт).

Оборудование места предварительного испытания аппаратуры. 1. Распределительный щиток. 2. Универсальный вольтмиллиамперметр или комплект заменяющих его приборов с пределами измерений 6—60—600 *в*, 6—30—150 *ма* и $1—10^3—10^6$ *ом*. 3. Ваттметр на 200 *вт* или амперметр переменного тока на 2 *а*. 4. Граммофонный проигрыватель. 5. Комплект инструмента (отвертки 2, 3 и 5 *мм*, изолированный пинцет, войлочная подстилка 400×600 *мм* и резиновый молоточек).

Оборудование места для нахождения неисправностей. 1. Распределительный щиток. 2. Генератор высокой частоты с точной градуировкой. 3. Генератор низкой частоты с регулируемым выходным напряжением для возможности проверки отдельных низкочастотных каскадов. 4. Ламповый вольтметр постоянного и переменного тока. 5. Подводка от граммофонного проигрывателя. 6. Вспомогательный усилитель низкой частоты с детекторным пробником (апериодический приемник). 7. Электронно-оптический индикатор колебаний. 8. Прибор постоянного тока с пределами измерений до 300 *ма* и до 600 *в*. 9. Вольтметр переменного тока с несколькими шкалами до 600 *в*. 10. Ваттметр или амперметр для постоянного и переменного тока на 1—2 *а*. 11. Омметр с несколькими шкалами для измерений в пределах от 1 *ом* до 5 *Мом*. 12. Высокоомный вольтметр для измерений в сеточных цепях (ламповый вольтметр постоянного тока). 13. Магазин сопротивлений и конденсаторов. 14. Головной телефон. 15. Комплект отверток 2, 3, 5 и 10 *мм*. 16. Плоскогубцы. 17. Бокорезы или кусачки. 18. Пинцеты (в том числе изолированный). 19. Щипцы для зачистки изоляции проводов. 20. Паяльники (на 35—50 и 100—150 *вт*). 21. Кисти (плоская и круглая). 22. Резиновый молоток. 13. Войлочная подстилка 600×400 *мм*. 24. Комплект инструмента для настройки контуров (неметаллические торцовые ключи и отвертки, латунно-магнетитовый щуп). 25. Зубоврачебное зеркальце (для рассматривания недоступных мест). 26. Малая переносная лампочка.

Измерительно-испытательный стол. 1. Генератор стандартных сигналов АМ с диапазоном частот 100 *кгц* — 26 *Мгц*. 2. Генератор стандартных сигналов ЧМ с диапазоном частот 60—80 *Мгц*. 3. Генератор синусоидальных колебаний низкой частоты с диапазоном частот 30—15 000 *гц* и выходной мощностью 3—5 *вт*. 4. Ламповый вольтметр. 5. Электронный осциллограф. 6. Измеритель выхода. 7. Высокоомный измерительный прибор постоянного и переменного тока. 8. Градуированный конденсатор переменной емкости до 500—1000 *пф*. 9. Испытатель ламп с таблицами испытания. 10. Мосты для измерения сопротивлений, емкостей и индуктивностей или один универсальный мост. 11. Мегомметр для испытания изоляции под высоким напряжением. 12. Микрофарадометр. 13. Комплект проверенных ламп наиболее применяемых типов. 14. Распределительный щиток.

Оборудование радиоремонтного места. 1. Распределительный щиток. 2. Универсальный измерительный прибор (вольтмиллиамперметр). 3. Комплект отверток (2, 3, 4, 5 и 10 *мм*). 4. Плоскогубцы монтажные. 5. Круглогубцы. 6. Бокорезы или кусачки. 7. Монтерский нож. 8. Ножовка с запасными полотнами. 9. Дрель ручная с набором сверл 1—10 *мм*. 10. Набор напильников личных и надфилей. 11. Пинцеты (большой, малый и изолированный). 12. Щипцы для зачистки изоляции. 13. Два паяльника (35—50 *вт* и 100—150 *вт*). 14. Кисти (плоская и круглая). 15. Резиновый молоток. 16. Войлочная подстилка 600 × 400 *мм*. 17. Комплект гаечных ключей от 3 до 25 *мм*. 18. Зубоврачебное зеркальце. 19. Переносная лампочка или карманный фонарик. 20. Малый слесарный инструмент (зубило, кернер, чертилка, пробойник, молоток и т. п.).

Оборудование места для настройки колебательных контуров. 1. Генератор стандартных сигналов АМ с диапазоном частот 100 *кгц*—26 *Мгц*. 2. Генератор стандартных сигналов ЧМ с диапазоном частот 60—80 *Мгц*. 3. Ламповый вольтметр с высокочастотным пробником. 4. Вспомогательный усилитель низкой частоты с детекторным пробником (апериодический приемник). 5. Ламповый вольтметр постоянного тока. 6. Комплект инструментов для настройки колебательных контуров (изолированные отвертки и ключи). 7. Пинцеты (малый и изолированный). 8. Эквивалент антенны. 9. Согласующие устройства для соединения УКВ ГСС с антенным входом приемника.

Оборудование механической мастерской. 1. Настольный электрический сверлильный станок. 2. Электрические дрели. 3. Токарный станок. 4. Шлифовальный станок с набором дисков шлифовальных, матерчатых, наждачных и проволочной щеткой. 5. Лобзик с запасом пилок. 6. Станок для намотки катушек для трансформаторов. 7. Станок для намотки катушек «универсаль». 8. Большой электрический паяльник на 300 *вт*. 9. Паяльная лампа.

10. Комплект спиральных сверл. 11. Метчики (2; 2,6; 3; 3,5; 4; 5 *мм*) с воротком. 12. Плашки (2; 2,6; 3; 3,5; 4; 5 *мм*) с клуппом. 13. Тиски параллельные настольные (поворотные). 14. Ручные тисочки. 15. Наборы различных напильников и надфилей. 16. Меха или пылесос. 17. Штангенциркули (150 и 250 *мм*). 18. Молотки (100 и 500 *г*). 19. Метелка для сметания пыли и опилок. 20. Ножницы для жести. 21. Рихтовальная плита. 22. Угольник стальной. 23. Комплект перок для дерева (3—15 *мм*). 24. Кронциркуль и нутромер. 25. Резьбомеры. 26. Метр металлический. 27. Разметочный циркуль. 28. Зубила. 29. Кернеры. 30. Ножовка с запасом полотен. 31. Проволочная щетка. 32. Фигурные (угловые, призматические и пр.) вставки для тисков и упоры из различных материалов. 33. Наждачная бумага разных номеров. 34. Олово и канифольный флюс. 35. Ацетон, четыреххлористый углерод, лак цапон, щеллак, спирт, канифоль, нашатырь, травленая кислота, мел.

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО УСТАНОВКЕ И РЕМОНТУ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ

В рамках настоящей книги нет возможности изложить принципы работы и ремонта телевизионных приемников столь же подробно, как это сделано в отношении радиовещательных приемников.

В этой главе освещены лишь вопросы установки и мелкого ремонта телевизионных приемников.

14-1. Приемные телевизионные антенны

Особенности телевизионных антенн. То обстоятельство, что в диапазоне УКВ возможно изготовление приемных антенн с размерами, соизмеримыми с длиной волны принимаемых колебаний, а также особенности распространения УКВ, придают телевизионным антеннам некоторые специфические свойства, которые необходимо учитывать при выборе типа, размеров, расположения и ориентации антенны и способов соединения ее со входом телевизионного приемника.

Прежде всего, следует помнить, что у телевизионных антенн ярко выражены резонансные свойства: на определенной частоте, тесно связанной с геометрией антенны, эффективность последней наибольшая. Соответствующая длина волны называется собственной волной антенны. Поэтому для приема телевидения на различных каналах, в общем случае, необходимы различные антенны.

Как и колебательный контур, антенна для токов собственной частоты представляет чисто активное сопротивление. Поскольку спектр телевизионного сигнала занимает довольно широкую полосу частот (сигналы изображения 6,5 *Мгц*, а вместе с сигналами звукового сопровождения 8 *Мгц*), то немаловажной характеристикой телевизионной антенны оказывается ширина полосы пропускаемых частот. Недостаточная широкополосность антенны приводит к искажениям принимаемых сигналов даже при соответствии ее собственной длины волны средней частоте телевизионного канала.

Далее, телевизионным антеннам присуще направленное действие, причем имеются такие направления, в которых прием отсутствует вовсе. Для наглядного описания этого свойства приводятся диаграммы направленности (см. ниже). Используя направленное действие антенны, можно за счет правильной ориентации ее в пространстве значительно улучшать отношение сигнал/помеха.

Диаграмма направленности изменяется при отклонении собственной частоты антенны от частоты принимаемых сигналов.

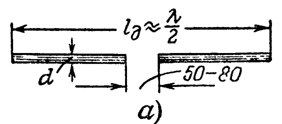
Наконец, для достижения эффективной передачи энергии, воспринятой антенной, на вход приемника и для предотвращения отражений сигнала, что может вызвать повторные изображения на экране телевизора, необходимо согласовывать сопротивление антенны с волновым сопротивлением фидера (снижения) и входным сопротивлением телевизионного приемника. Кроме того, если фидер или входные цепи приемника имеют несимметричную конструкцию, то часто приходится применять особые устройства для сопряжения этих элементов. Применяя такие устройства, можно исключить проникновение на вход приемника токов различных помех, воспринимаемых внешней оболочкой кабеля снижения, что повышает помехоустойчивость приема, и исключить искажение диаграммы направленности антенны.

Качество телевизионного изображения и помехоустойчивость приема в исключительно большой степени зависят от типа примененной антенны, ее сопряжения с приемником и расположения. Поэтому сооружению телевизионной антенны всегда надо уделять много внимания.

Выбор типа антенны должен производиться с учетом расстояния до телецентра, мощности передатчика, высоты передающей антенны, наличия препятствий на линии передающая антенна — приемная антенна, условий местных помех и чувствительности телевизионного приемника.

Конструкция приемной телевизионной антенны определяется также необходимостью приема одной или нескольких программ.

Ниже при описании различных телевизионных антенн мы не будем останавливаться на вопросах механического крепления мачт и установки их на крышах, ибо соответствующие рекомендации уже были даны в гл. 8. Следует лишь помнить, что телевизионные антенны зачастую тяжелее радиовещательных и обладают большим сопротивлением ветру. Поэтому их конструкция и крепление должны быть особенно надежными в механическом отношении.



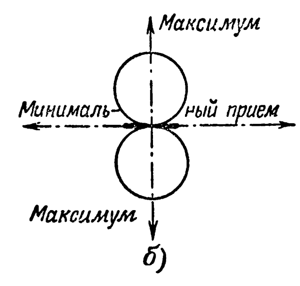


Рис. 14-1. Линейный полуволновый вибратор (*а*) и его диаграмма направленности (*б*).

Полуволновый вибратор (диполь), представленный на рис. 14-1, *а*, является простейшей и наиболее распространенной телевизионной антенной. Для его изготовления обычно применяются два отрезка дюралюминиевых или стальных трубок с внешним диаметром 10—20 *мм*. Возможно применение и металлических стержней, полос или уголков, а также многожильного провода (антенного канатика), однако необходимая полоса пропускания обеспечивается при поперечном размере этих элементов не менее 10—15 *мм*.

Собственная волна его примерно вдвое больше геометрической длины. Таким образом необходимая длина вибратора может быть определена по формуле

$$l_д \approx \frac{\lambda}{2}, \qquad (14\text{-}1)$$

где λ — средняя длина волны телевизионного канала (см. табл. 14-1).

Более точное соотношение требует небольшого укорочения элементов вибратора в зависимости от отношения диаметра трубки d к длине волны λ:

$$l_д = \frac{\lambda}{2}\left(1 - \frac{\Delta\%}{100}\right), \qquad (14\text{-}2)$$

где $\Delta\%$ — коэффициент укорочения (см. табл. 14-2).

Таблица 14-1

Основные характеристики телевизионных каналов

Телевизионный канал	Несущая частота сигналов изображения, *Мгц*	Несущая частота сигналов звукового сопровождения, *Мгц*	Средняя длина волны, *м*
1	49,75	56,25	5,72
2	59,25	65,75	4,84
3	77,25	83,75	3,75
4	85,25	91,75	3,41
5	93,25	99,75	3,13
6	175,25	181,75	1,68
7	183,25	189,75	1,61
8	191,25	197,75	1,55
9	199,25	205,75	1,48
10	207,25	213,75	1,43
11	215,25	221,75	1,37
12	223,25	229,75	1,32

Таблица 14-2

Коэффициент укорочения Δ %

d/λ	0,001	0,002	0,003	0,005	0,007	0,01
Δ %	3,8	4,5	5	5,6	6	6,5

При изготовлении элементов вибратора из полосового материала в качестве d надо использовать половину ширины полосы.

Диаграмма направленности полуволнового вибратора изображена на рис. 14-1, *б*, из которого видно, что направление максимального приема перпендикулярно вибратору, а в направлении элементов вибратора прием отсутствует.

Сопротивление вибратора на собственной частоте составляет около 75 *ом*, в связи с чем он может подключаться к приемнику при помощи 75-омного коаксиального кабеля, например, типов РК-1, РК-3, РК-49. Однако эти кабели несимметричны и непосредственное подключение одиночного соединительного кабеля к диполю допустимо лишь при особенно благоприятных условиях приема и небольшой протяженности снижения (не более 10 *м*), когда искажения диаграммы направленности и снижение помехоустойчивости приема не страшны.

Как правило, подключение коаксиального кабеля к симметричному полуволновому вибратору надо производить с применением специальных симметрирующих устройств, представленных на рис. 14-2.

Симметрирующее устройство с короткозамкнутым мостиком (рис. 14-2, *а*) выполняется из двух трубок, припаиваемых к внутренним торцам элементов диполя, причем коаксиальный кабель снижения пропускается через одну из этих трубок и присоединяется к элементам диполя. Короткозамыкающая перемычка располагается на расстоянии 1/4 средней длины волны от диполя.

На рис. 14-2, *б* изображено симметрирующее устройство (U-колено), выполняемое из такого же кабеля, каким делается снижение. Отрезок кабеля, из которого выполняется U-колено, должен иметь длину

$$l_U = l_1 + l_2 = \frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon}}, \qquad (13\text{-}3)$$

где ε — относительная диэлектрическая проницаемость изоляционного материала, отделяющего внутреннюю жилу кабеля от его оплетки (для коаксиальных кабелей типов РК-1, РК-3, РК-4, РК-9 значение $\varepsilon = 2{,}3$).

Отвод для снижения берется от 1/4 полной длины U-колена.

$$l_1 = \frac{l_U}{4}. \qquad (13\text{-}4)$$

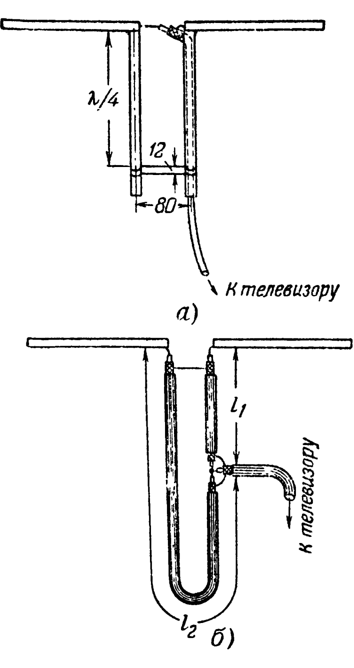


Рис. 14-2. Симметрирующие устройства для подключения 75-омного коаксиального кабеля к полуволновому вибратору.

а — мостик; *б* — U-колено.

Необходимые длины двух частей U-колена для различных телевизионных каналов приведены в табл. 14-3

Таблица 14-3

Геометрические размеры симметрирующего U-колена для полуволнового диполя

Телевизионный канал	1	2	3	4	5	6—7	8—9	10—12
l_1, *мм*	950	800	620	560	515	280	250	230
l_2, *мм*	2850	2400	1860	1680	1545	840	750	690

Полоса пропускаемых частот при применении U-колена несколько уже, чем при использовании мостикового симметрирующего устройства.

При монтаже антенны U-колено после осуществления всех соединений и изолирования точки отвода снижения может быть свернуто в кольцо, закрепляемое на мачте-опоре.

Для устройства снижения от полуволнового вибратора можно применять и ленточный симметричный кабель типа КАТВ. При этом отпадает надобность в симметрирую-

щем устройстве, но возникает необходимость согласования, ибо волновое сопротивление кабеля КАТВ составляет 300 *ом*. Для этого применяется согласующий трансформатор, выполняемый из отрезков того же кабеля (рис. 14-3). Необходимая длина отрезков кабеля КАТВ для согласующего трансформатора при работе в первых пяти телевизионных каналах указана в табл. 14-4.

Таблица 14-4

Длина отрезков согласующего трансформатора для полуволнового вибратора

Телевизионные каналы	1	2	3	4	5
$l_{тр}$, *мм*	1200	1000	780	700	650

Диаграмма направленности его такая же, как у диполя. В отличие от диполя шлейфная антенна вовсе не воспринимает сигналов с некоторыми частотами, выше собственной, и потому обеспечивает несколько лучшую помехоустойчивость приема.

Шлейфные антенны принято выполнять из металлической трубки диаметром 10—20 *мм*.

Собственная длина волны шлейфной антенны связана с геометрической длиной ее прежней формулой (14-2), только для определения коэффициента укорочения по табл. 14-2 надо вместо диаметра трубок подставлять величину

$$d_{эфф} = \sqrt{2dS} \qquad (14\text{-}5)$$

где d — диаметр трубки;

S — расстояние между осями трубок шлейфа (на практике выбирают $S = 70 \div 100$ *мм*).

Длина шлейфной антенны для различных каналов при $S = 70$ *мм* указана в табл. 14-5 в графе $l_ш$.

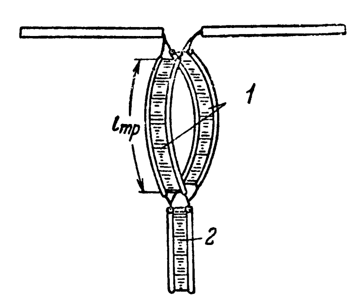


Рис. 14-3. Согласующий трансформатор (*1*) для подключения снижения (*2*) из 300-омного кабеля к полуволновому вибратору.

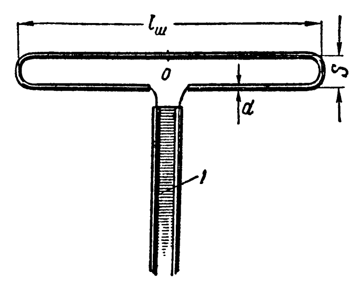
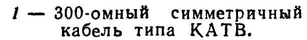


Рис. 14-4. Шлейфный вибратор.


1 — 300-омный симметричный кабель типа КАТВ.

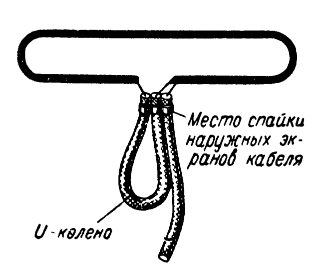


Рис. 14-5. Согласование и симметрирование 75-омного коаксиального кабеля с шлейфной антенной.

На частотах выше 100 *Мгц* потери энергии в кабеле типа КАТВ сильно возрастают, поэтому для приема в каналах 6—12 такое снижение применять не следует. Кроме того, надо учитывать, что помехозащищенность неэкранированного кабеля КАТВ значительно ниже, чем у коаксиальных кабелей, особенно при несимметричном расположении двух его проводов относительно электропроводок, стен и больших масс строительных конструкций.

Выбор того или иного типа снижения надо производить и с учетом специфики построения входных цепей данного телевизионного приемника, чтобы не возникало дополнительных задач по согласованию или симметрированию снижения в точке подключения его к приемнику.

Многие телевизоры имеют комбинированную схему входа, допускающую непосредственное подключение как 75-омного несимметричного кабеля, так и 300-омного симметричного. Но есть телевизоры, рассчитанные только на один из этих типов снижения.

Шлейфный вибратор (рис. 14-4) обладает примерно такими же свойствами, что и полуволновый линейный вибратор, но отличается несколько большей жесткостью конструкции и начинает находить все большее применение.

Основное отличие шлейфной антенны от диполя состоит в том, что ее сопротивление на собственной частоте составляет 300 *ом*. Поэтому при выполнении снижения кабелем КАТВ никаких устройств для согласования не требуется. Применение же коаксиального 75-омного кабеля требует как симметрирования, так и согласования.

Обе эти задачи могут быть одновременно решены при помощи специального U-колена, несколько иной конструкции (рис. 14-5), чем в случае диполя. U-колено выполняется из отрезка того же кабеля, каким выполняется снижение, и должно иметь длину, указанную в табл. 14-5 в графе l_U.

Для шлейфного вибратора характерно отсутствие потенциала в средней точке его (0 на рис. 14-4). Поэтому крепить шлейф к мачте можно в этой точке без применения каких-либо изоляторов (например, металлическим хомутиком к металлической опорной мачте).

Телевизионные антенны с высокой направленностью. Описанные выше одноэлементные антенны обеспечивают удовлетворительный прием телевизионных передач при сравнительно небольшом удалении от передатчика (в среднем до 15—30 *км*). При больших расстояниях эффективность этих антенн оказывается недостаточной, и следует переходить к применению более сложных

Таблица 14-5

Геометрические размеры шлейфной антенны и симметрирующего и согласующего U-колена

Телевизионные каналы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$l_ш$, *мм*	2760	2340	1790	1620	1510	800	760	725	695	670	650	630
l_U, *мм*	1900	1600	1240	1120	1030	560	535	515	495	475	455	440

антенн (рис. 14-6), отличающихся острой направленностью. Одновременно с сужением главного лепестка диаграммы направленности происходит увеличение э. д. с. сигнала, принимаемого антенной с высокой направленностью, по сравнению с э. д. с. сигнала, возникающего в одиночном вибраторе. Этот выигрыш в э. д. с. полезного сигнала принято называть **коэффициентом усиления антенны**. Усиление полезного сигнала и ослабление сигналов помех, приходящих с других направлений, может дать очень большой выигрыш в отношении сигнал/помеха и обеспечить уверенный прием телевизионных передач на больших расстояниях от телецентра (100 *км* и более).

Достижение наилучших характеристик многоэлементных антенн требует тщательного расчета всех геометрических размеров, напоминая задачу конструирования многолинзовой оптической системы. Сплошь и рядом небольшие отклонения от оптимальных размеров при выполнении таких антенн существенно ухудшают их характеристики. Поэтому выполнять такие антенны надо тщательно в строгом соответствии с расчетными данными и обеспечивать достаточную жесткость конструкции, чтобы с течением времени геометрия антенны не могла измениться.

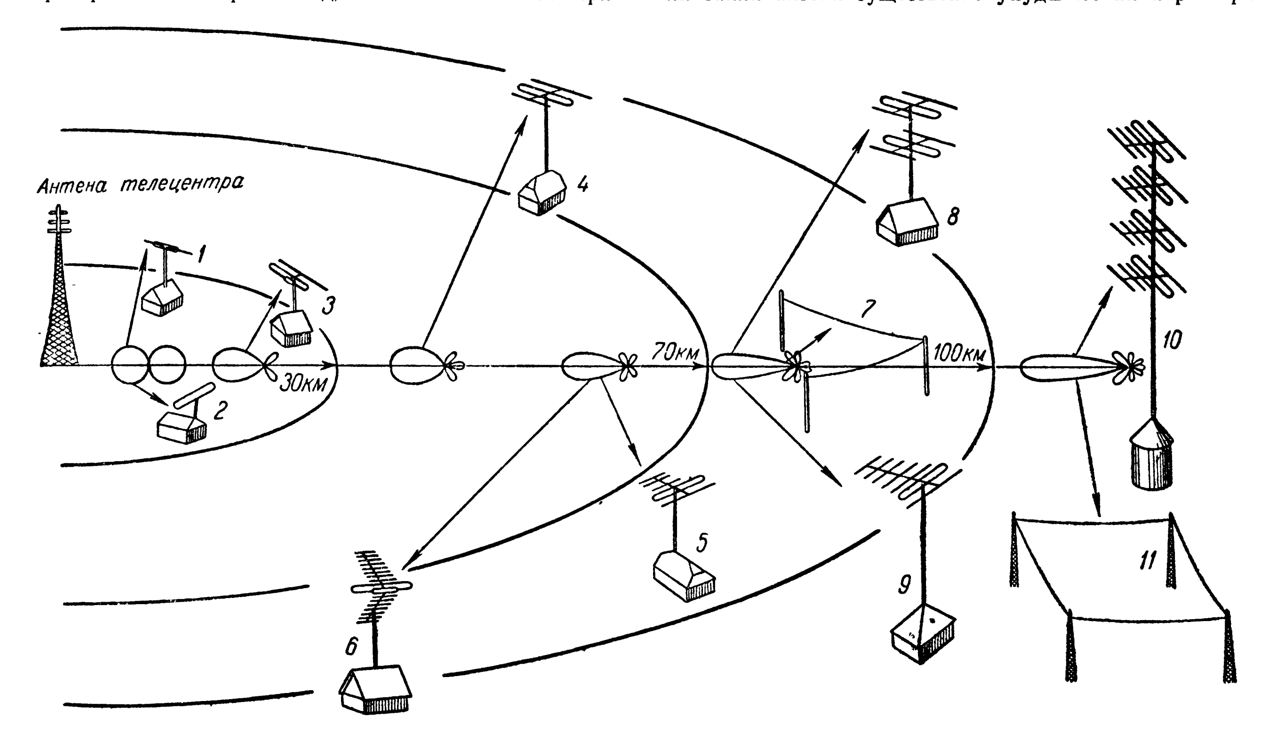


Рис. 14-6. Применение антенн различных типов в зависимости от расстояния до телецентра.

1, 2 — одиночные вибраторы; *3, 4, 5, 9* — двух-, трех-, пяти-и семиэлементная антенны типа «волновой канал»; *6* — антенна с уголковым отражателем; *7* — V-образная антенна; *8, 10* —двух и четырехэтажная синфазные антенны; *11* — ромбическая антенна. На оси расстояний изображены диаграммы направленности этих антенн.

Наиболее распространенными антеннами высокой направленности являются антенны типа «волновой канал» (*3, 4, 5, 9* на рис. 14-6). Из антенн типа «волновой канал» собираются и многоэтажные так называемые «синфазные» антенны (8, 10 на рис. 14-6), обладающие особенно острыми диаграммами направленности и большим коэффициентом усиления.

Все эти антенны имеют в своей основе шлейфный вибратор описанного выше типа. Эфективность антенны повышается введением пассивных вибраторов, располагаемых позади (рефлекторы) и впереди (директоры) активного элемента.

Рефлекторы выполняются на 15—20% длиннее активного вибратора и располагаются на расстоянии несколько меньшем одной четверти длины волны позади него.

Директоры выполняются на 10—20% короче активного вибратора и располагаются на расстояниях порядка $\frac{1}{8}\lambda$ впереди него.

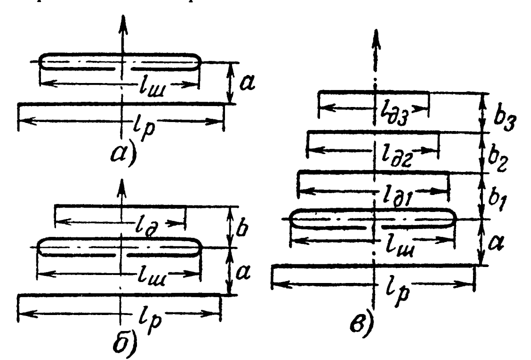


Рис. 14-7. Условные обозначения основных размеров двух- (*а*), трех- (*б*) и пятиэлементной (*в*) антенн типа «волновой канал».

В табл. 14-6 приведены геометрические размеры двух-, трех- и пятиэлементных антенн типа «волновой канал» в соответствии с обозначениями на рис. 14-7.

Таблица 14-6

Геометрические размеры многоэлементных антенн

Телевизионные каналы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Двухэлементная антенна (рис. 14-7, *а*)												
$l_ш$, *мм*	2560	2180	1700	1530	1400	760	730	700	670	640	620	595
$l_р$, *мм*	3140	2680	2060	1870	1710	930	890	850	815	785	760	730
a, *мм*	900	760	590	535	490	270	255	240	230	225	220	215
Трехэлементная антенна (рис. 14-7, *б*)												
$l_ш$, *мм*	2760	2340	1790	1620	1510	815	780	745	720	690	665	640
$l_р$, *мм*	3350	2840	2200	2000	1830	990	950	905	870	840	805	780
$l_д$, *мм*	2340	2000	1550	1400	1290	690	660	630	610	585	560	545
a, *мм*	900	760	590	535	490	270	255	240	230	225	220	215
b, *мм*	600	510	395	355	330	180	170	160	155	150	145	140
Пятиэлементная антенна (рис. 14-7, *в*)												
$l_ш$, *мм*	2760	2340	1790	1620	1510	730	690	680	660	605	580	550
$l_р$, *мм*	3130	2650	2060	1870	1710	840	840	800	760	700	710	680
$l_{д1}$, *мм*	2510	2130	1650	1500	1370	720	680	660	640	610	580	560
$l_{д2}$, *мм*	2490	2100	1630	1485	1360	720	680	660	610	610	580	560
$l_{д3}$, *мм*	2430	2060	1600	1450	1330	700	660	650	610	610	570	530
a, *мм*	1200	1030	790	720	660	325	310	300	290	260	260	240
b_1, *мм*	730	620	480	435	400	210	210	210	160	190	190	250
b_2, *мм*	700	590	460	420	380	500	530	490	450	445	390	385
b_3, *мм*	740	625	485	440	400	420	365	370	380	315	350	340

Элементы этих антенн выполняются из металлических (дюралюминиевых, стальных или латунных) трубок диаметром 10—20 *мм*. Для монтажа всех вибраторов используется горизонтальная стрела, закрепленная на мачте-опоре. Как мачта, так и стрела могут быть металлическими,

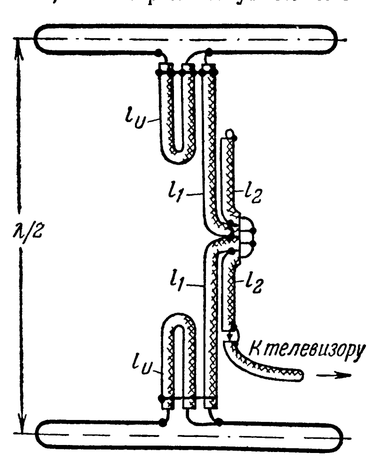


Рис. 14-8. Схема соединения активных элементов двухэтажной синфазной антенны.

причем все вибраторы можно крепить на стреле без изоляторов, если осуществлять крепление в средней точке каждого вибратора.

Коэффициент усиления двухэлементной антенны достигает 1,5, трехэлементной 2, а пятиэлементной 2,8. Все эти антенны имеют сопротивление 300 *ом*, и порядок подключения к ним снижения такой же, как для одноэлементной шлейфной антенны.

Для приема телевидения на расстояниях 100 *км* и больше целесообразно применять многоэтажные антенны. Они составляются из нескольких трех- или пятиэлементных антенн только что описанного типа, отстоящих друг от друга на расстояние $\lambda/2$ или λ.

Для правильной согласованной работы отдельных антенн вибраторы должны соединяться между собой строго определенными способами. Как показано на рис. 14-8,

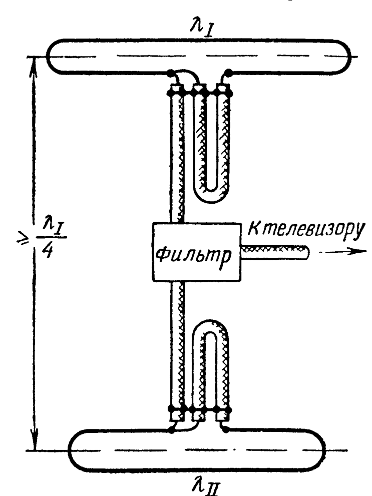


Рис. 14-9. Схема соединения двух антенн на разные каналы с общим снижением.

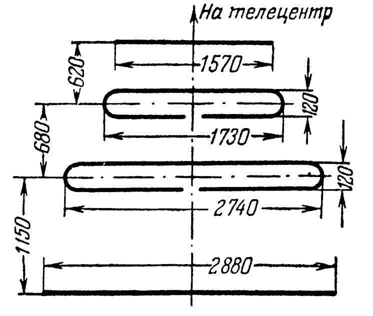


Рис. 14-10. Геометрические размеры двухпрограммной антенны, предназначенной для приема передач в первом и третьем каналах.

к активному шлейфу каждой антенны присоединяется согласующее и симметрирующее U-колено (размеры l_U см. в табл. 14-5). Для выполнения U-колен, отрезков l_1

и общего снижения в данном случае используется 75-омный коаксиальный кабель (РК-1, РК-3, РК-49), а для отрезков l_2 — 50-омный коаксиальный кабель (РК-6, РК-19, РК-47). Длина отрезка l_1 должна совпадать с длиной шлейфа U (табл. 14-5), а длина отрезка l_2 вдвое меньше:

$$l_2 = \frac{l_1}{2} = \frac{l_U}{2} \qquad (14\text{-}6)$$

Коэффициент усиления такой антенны достигает 3,5.

Многопрограммные телевизионные антенны. В связи с непрерывным расширением сети телевизионных центров

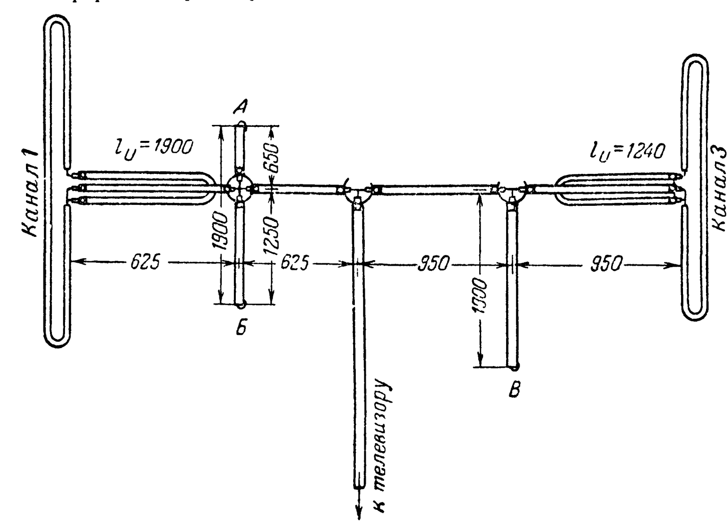


Рис. 14-11. Схема соединения активных элементов антенны, изображенной на рис. 14-10 (в точках *А*, *Б* и *В* внутренняя жила кабелей замыкается на оплетку).

в ряде городов Советского Союза появилась возможность приема передач нескольких телецентров, работающих на различных каналах.

В некоторых, довольно редких, случаях возможен удовлетворительный прием по двум или трем каналам с помощью обычных однопрограммных антенн, настроенных на один из принимаемых каналов (например, в Москве для приема по первому и третьему каналам возможно применение полуволнового линейного вибратора с симметрирующим мостиком, рассчитанного на прием в первом канале). В общем же случае расстройка приемной антенны и симметрирующих и согласующих устройств относительно средней частоты телевизионного канала приводит к сильным искажениям диаграммы направленности и потере согласования, что исключает удовлетворительный прием передач по двум каналам.

Простейшим выходом из положения является сооружение независимых антенн для каждой из принимаемых программ с общим снижением.

Каждая из антенн может выполняться в форме любой из описанных выше конструкций и их можно располагать на общей мачте-опоре, удаляя однако друг от друга не менее чем на четверть длины волны более длинноволнового канала.

Для исключения взаимной связи антенн через общее снижение последнее присоединяется к антеннам при помощи развязывающего фильтра (рис. 14-9).

Такие фильтры могут выполняться при помощи отрезков коаксиальных кабелей или в виде электрических фильтров типа *LC*.

Существуют и двухпрограммные антенны, монтируемые на общей стреле (рис. 14-10). В их состав входят два индивидуальных активных вибратора для необходимых телевизионных каналов, отдельный для длинноволнового канала рефлектор и общий директор. На рис. 14-10 приведены геометрические размеры элементов двухпрограммной антенны, предназначенной для приема по первому и третьему каналам (Москва), а на рис. 14-11 показана схема симметрирующих, согласующих и развязывающих элементов такой антенны, выполняемых из 75-омного коаксиального кабеля.

В литературе имеются описания и других типов многопрограммных телевизионных антенн, в том числе обеспечивающих прием по любому из 12 каналов.

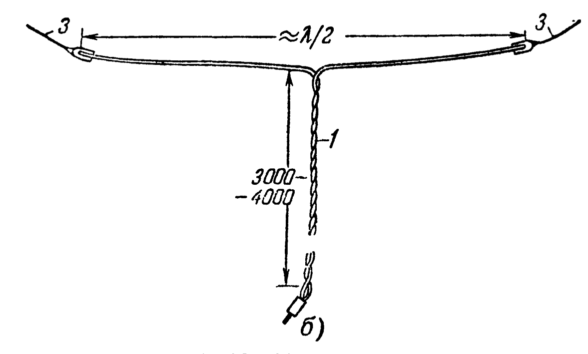


Рис. 14-12. Комнатные антенны.

а — телескопическая антенна типа КТТА; *б* — простейшая антенна из электрического шнура. *1* — электрический шнур; *2* — штеккер в гнездо 75-омного входа телевизора; *3* — оттяжка из бечевки.

Комнатные телевизионные антенны. При небольших расстояниях от телевизионного передатчика (в пределах 5—10 *км*) часто с успехом можно обходиться комнатными антеннами, различные конструкции которых основаны на принципе полуволнового вибратора. Однако сильные искажения электромагнитного поля внутри помещений, близость электропроводок, стен и наличие большого числа отражений и стоячих волн приводят к тому, что достижение наилучших результатов сплошь и рядом требует кропотливого поиска наиболее благоприятных размеров и расположения комнатной антенны. Удобными для

этих целей являются выпускаемые промышленностью телескопические антенны (рис. 14-12, *а*).

Внутри помещений наряду с горизонтальной поляризацией почти всегда имеется составляющая электромагнитного поля с вертикальной поляризацией. Поэтому зачастую наилучшее качество изображения получается не при строго горизонтальном положении комнатной антенны. Длина и угол наклона каждой половины вибратора, направление их, а также взаимная замена положений — все это в сильной мере может сказываться на получаемых результатах и требует в каждом случае индивидуального подбора чисто опытным путем.

Особенно тяжелые условия приема на комнатную антенну возникают в непосредственной близости от телецентра в помещениях, располагающихся с противоположной от телецентра стороны зданий, где большое количество сильных отраженных сигналов может полностью забивать основной сигнал передатчика. При этом часто не удается получить чистое изображение, свободное от повторных картинок, и единственным выходом бывает сооружение наружной, иногда остронаправленной, антенны.

Для выяснения возможности применения комнатной антенны можно воспользоваться простейшей антенной, изготавливаемой из шнура электропроводки (рис. 14-12, *б*).

В связи с тем, что длина снижения у комнатных антенн мала, а диаграммы направленности их и так сильно искажены окружающими предметами, обычно можно не применять никаких мер по согласованию и симметрированию, хотя в некоторых случаях подобные меры, подбираемые экспериментальным путем, могут давать положительный эффект.

Телескопические антенны могут без труда перестраиваться на прием различных программ, однако для достижения наилучших результатов может требоваться различное расположение антенны при приеме по каждому каналу.

14-2. Снижение помех телевизионному приему

Виды помех телевизионному приему. Внешние помехи телевизионному приему по причинам их возникновения и способам устранения можно разделить на три основные группы.

Помехи первой группы имеют своей причиной поступление на вход телевизионного приемника наряду с основным сигналом телевизионного передатчика сдвинутых во времени отраженных сигналов. Они проявляются в виде более или менее интенсивных повторных изображений, появляющихся на экране телевизора правее основного изображения. Причиной возникновения таких помех могут быть воздействия на приемную антенну отраженных от различных строений электромагнитных волн передатчика и отсутствие должного согласования снижения с антенной и входом телевизора. Устраняются они соответствующим налаживанием антеннофидерной системы.

Ко второй группе телевизионных помех можно отнести мешающее действие источников периодических колебаний (УКВ и КВ радиостанций, промышленных, медицинских и научных установок, включающих в себя высокочастотные генераторы). Помехи такого рода проявляются в виде неподвижных или бегущих по экрану полос и сеток. Среди других рассматриваемых ниже средств избавления от помех подобного рода можно указать на включение между антенной и телевизором специальных заградительных фильтров.

Наконец, к третьей группе помех можно отнести разнообразные индустриальные помехи импульсного вида (от систем зажигания двигателей внутреннего сгорания, электротранспорта, бытовых электроприборов и т. п.). Такие помехи проявляются в виде хаотических вспышек, черточек и пятен на изображении, а при большой интенсивности приводят к срыву синхронизации, причем изображение распадается. Основным средством борьбы с помехами этой группы является подавление их в месте возникновения.

В таком порядке мы и рассмотрим методы снижения помех телевизионному приему.

Устранение (ослабление) повторных изображений. При наличии повторных изображений, прежде всего надо проверить, как выполнено согласование кабеля снижения с антенной и со входом телевизионного приемника. Если переход от элементов с одним сопротивлением к элементам с другим сопротивлением выполнен без изложенных выше мер, то отражения части энергии от концов линии снижения могут привести к многократному поступлению в приемник сигнала и появлению целого ряда повторных изображений с убывающей интенсивностью. Такой эффект может наблюдаться при общей длине кабеля снижения более 8—10 *м*. Устраняется такая помеха соблюдением мер, изложенных выше.

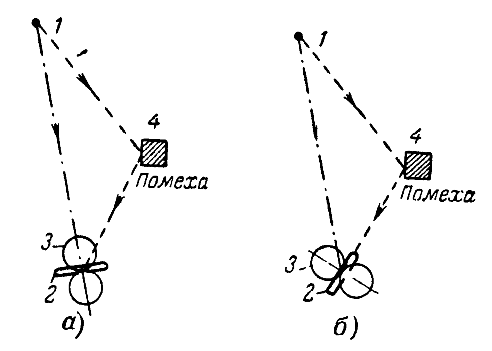


Рис. 14-13. Прием прямого и отраженного сигналов (*а*) и ориентация приемной антенны, обеспечивающая отсутствие приема отраженного сигнала (*б*).

1 — антенна телевизионного передатчика; *2* — приемная антенна; *3* — диаграмма направленности приемной антенны; *4* — отражающий объект.

Отсутствие необходимого согласования может быть вызвано применением для снижения случайного коаксиального кабеля с несоответствующим значением волнового сопротивления.

Если снижение выполнено 300-омным кабелем, а телевизор имеет только 75-омный вход, то простейшим способом согласования является подключение такого кабеля к антенным гнездам телевизора через согласующий делитель из трех сопротивлений, выполненный по схеме на рис. 11-10 (к 300-омным зажимам этого делителя присоединяется кабель снижения, а 75-омные зажимы присоединяются к приемнику). Однако такой делитель ослабляет принимаемый сигнал в 4 раза и следовательно может применяться лишь при высоких уровнях сигнала. Кроме того, симметрия снижения в этом случае сохраняется лишь при условии, что входная цепь телевизора симметрична (этого нет, например, в телевизорах типа КВН-49).

Нарушение симметрии при подключении коаксиального кабеля к антенне без симметрирующих устройств, представленных на рис. 14-2, 14-5 и др., также может быть причиной повторных изображений.

Если подключение антенны произведено правильно, то причину повторных изображений следует искать в приеме сигналов телецентра, приходящих несколькими путями (рис. 14-13). Путь сигнала, отраженного от высокого здания, длиннее пути прямого сигнала, поэтому возникает сдвиг во времени, достаточный для раздвоения изображения на экране телевизора.

Эффективным средством борьбы с приемом отраженных сигналов является использование направленных свойств приемной антенны. Так, при ориентировке минимума диаграммы направленности антенны на направление воздействия отраженного сигнала (рис. 14-13, *б*), можно пол-

ностью подавить отраженный сигнал, и, несмотря на некоторое ослабление прямого сигнала, получить лучшее по качеству изображение.

Поскольку на практике далеко не всегда очевидно направление, с которого поступает отраженный сигнал, а зачастую приходится иметь дело и с несколькими отражаемыми сигналами, то для достижения наилучших результатов при установке наружной антенны обычно приходится проверять качество принимаемого изображения при различной ориентации ее, проворачивая антенну перед тем, как жестко ее закрепить, в пределах 180° (одноэлементная антенна) или 360° (антенны с высокой направленностью). Дело в том, что при неблагоприятных условиях прохождения прямого сигнала (при отсутствии прямой видимости антенны передатчика из точки установки приемной антенны) иногда наблюдается лучший по качеству прием за счет какого-либо отраженного сигнала.

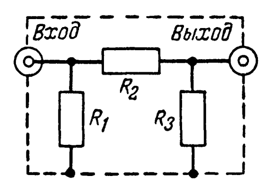


Рис. 14-14. Принципиальная схема делителя напряжения.

Иногда причиной повторных изображений являются проходящие вблизи антенны линии электропередачи и связи или взаимодействие с соседними приемными телевизионными антеннами. В таких случаях помогает небольшое (иногда в пределах 1 *м*) смещение точки расположения антенны.

Работы по выбору места расположения и ориентации телевизионной антенны удобно производить при наличии телефонной связи между лицом, устанавливающим антенну, и помощником, находящимся в помещении возле телевизора. После выбора места установки и ориентации помощник поднимается на крышу и помогает осуществить жесткое крепление мачты и оттяжек.

При большом количестве сильных отраженных сигналов (особенно в непосредственной близости от телецентра) для подавления повторных изображений может потребоваться установка остронаправленной антенны. В этих случаях помогают также улучшить качество принимаемого изображения делители (рис. 14-14), включенные на входе приемника. Они ослабляют интенсивность принимаемых сигналов и, предотвращая нелинейный режим усилительных ламп, уменьшают взаимную модуляцию основного и отраженных сигналов. Кроме того, при этом предотвращаются искажения в передаче градаций яркости.

Применяемые для этих целей делители с различными коэффициентами ослабления (от 5 до 40 *дб*) выпускаются промышленностью под марками ДН-1—ДН-8, но могут быть изготовлены и самостоятельно. Необходимо только следить за тем, чтобы они не нарушали условий симметрии и согласования (их входное сопротивление должно равняться волновому сопротивлению кабеля снижения, а выходное — сопротивлению входной цепи приемника), а конструкция разъемов обеспечивала бы непосредственное соединение с одной стороны со штеккером снижения, а с другой — с входным гнездом приемника.

Таблица 14-7

Данные делителей напряжения

Ослабление, *дб*	$R_1 = R_3$, *ом*	R_2, *ом*	Марка соответствующего промышленного образца
5	270	46	ДН-1
10	150	110	ДН-2
15	110	200	ДН-3
20	91	360	ДН-4
25	82	680	ДН-5
30	82	1200	ДН-6
35	75	2000	ДН-7
40	75	2700	ДН-8

В табл. 14-7 приведены данные сопротивлений для делителей, имеющих входное сопротивление 75 *ом*, т. е. рассчитанных на включение совместно с коаксиальным кабелем снижения.

Снижение периодических помех. Как уже указывалось, источниками периодических помех могут быть разнообразные радиопередатчики и высокочастотные генераторы. Аналогичные помехи могут создавать гетеродины радиовещательных и телевизионных приемников, расположенных в непосредственной близости от данного телевизора.

Наиболее эффективным, но не всегда доступным, средством ослабления таких помех является обезвреживание самих источников помех.

Так, например, помехи, создаваемые КВ передатчиками, обусловлены большой интенсивностью гармоник, частоты которых попадают в диапазон УКВ. Наиболее эффективное ослабление таких помех достигается введением в цепь антенны передатчика электрического фильтра, ослабляющего проникновение гармоник в передающую антенну.

В случае промышленных, медицинских и научных установок с высокочастотными генераторами подавление помех в месте их возникновения может достигаться тщательным экранированием отдельных элементов или установок в целом, размещением их в полностью экранированных помещениях и применением защитных фильтров в цепях питания.

Если частота помехи попадает в полосу частот телевизионного канала, то ослабление помехи при приеме большей частью возможно лишь за счет применения помехозащищенного снижения (из коаксиального кабеля с тщательным выполнением мер симметрирования) и подбора благоприятной ориентации антенны (как в случае борьбы с приемом отраженного сигнала).

Если же частота помехи лежит за пределами полосы частот телевизионного канала, то все же помеха может проникать в телевизор (из-за недостаточной избирательности приемника или за счет перекрестной модуляции — при большой интенсивности сигналов). В этих случаях хорошие результаты могут быть получены включением помехоподавляющих фильтров в цепь антенны телевизионного приемника.

Для защиты приема по первому каналу от периодических помех с частотами, лежащими за пределами телевизионного канала, промышленностью выпускается несколько фильтров с марками ППУ-1—ППУ-4. Принципиальные схемы и основные характеристики этих фильтров приведены на рис. 14-15 и в табл. 14-8.

Эти фильтры рассчитаны на включение между 75-омным кабелем снижения и 75-омным входом телевизора.

Периодические помехи могут попадать в телевизор не только из антенны, но и по проводам электрической сети. В последнем случае для их ослабления включают специальный сетевой фильтр (рис. 14-15, *д*). Часто хороший эффект достигается лишь при непосредственном соединении металлического корпуса сетевого фильтра с шасси телевизионного приемника.

Помехи, создаваемые гетеродинами соседних приемников, удается ослаблять изменением взаимного расположения приемников, комнатных антенн и включением сетевых фильтров как у защищаемого от помехи телевизора, так и у создающего помеху приемника.

Борьба с импульсными индустриальными помехами телевидению осуществляется теми же способами, что и в случае радиовещательного приема (см. гл. 8).

Следует лишь добавить, что при приеме телевидения особенно важна помехоустойчивость системы синхронизации, так как отдельные вспышки и черточки, появляющиеся на изображении при проникновении помехи через видеоканал, значительно меньше портят качество изображения, чем распадение картинки, возникающее при срыве синхронизации. Поэтому в местах, сильно заражен-

Таблица 14-8

Основные характеристики помехоподавляющих фильтров (рис. 14-15)

Марка фильтра	Класс фильтра	Основное назначение	Подавляемые частоты (*Мгц*) и коэффициент затухания, (*дб*)
ППУ-1	Фильтр верхних частот	Подавление помех с частотами ниже частот 1-го телевизионного канала	<48,5 *Мгц* 40—60 *дб*
ППУ-2	Фильтр нижних частот	Подавление помех с частотами выше частот 1-го телевизионного канала	>58 *Мгц* 40—60 *дб*
ППУ-3	Полосовой фильтр	Подавление помех с частотами выше и ниже частот 1-го телевизионного канала	<46,8 *Мгц* и >59,8 *Мгц* 40—60 *дб*
ППУ-4	Сдвоенный заградительный фильтр	Подавление помех на двух перестраиваемых частотах	Полоса 0,6 *Мгц* в пределах диапазона 45—60 *Мгц*
—	Сетевой фильтр нижних частот	Предотвращение проникновения помех из электрической сети	>5 *Мгц* до 100 *дб*

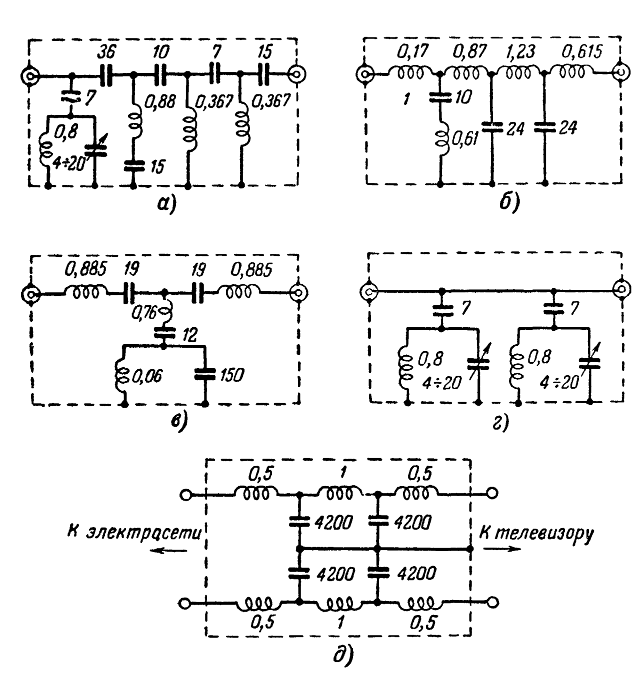


Рис. 14-15. Принципиальные схемы помехоподавляющих устройств ППУ-1 (*а*), ППУ-2 (*б*), ППУ-3 (*в*), ППУ-4 (*г*) и сетевого фильтра (*д*) для телевизионного приемника.

Емкости указаны в пикофарадах, индуктивности — в микрогенри.

ных помехами (возле автомагистралей и на улицах с интенсивным движением электротранспорта, вблизи промышленных предприятий, широко применяющих искрящее электрооборудование) целесообразно использование телевизоров с помехозащищенными системами синхронизации (инерционной или ключевой).

Дополнительными средствами ослабления импульсных помех являются: расположение приемной телевизионной антенны на максимальной высоте и наибольшее удаление ее от источников импульсных помех (например, на противоположной от улицы стороне крыши), применение для снижения коаксиального кабеля с хорошим симметрированием, а также применение фильтров в цепи антенны, ограничивающих полосу частот, воздействующих на приемник (рис. 14-15, *а*, *б* и *в*) и сетевого фильтра (рис. 14-15,*д*), ослабляющего проникновение помехи из электрической сети.

14-3. Проверка и настройка телевизора по испытательной таблице [1]

Предварительные замечания. Установка телевизора заканчивается проверкой его работы при приеме испытательной таблицы (рис. 14-16) и настройкой основных и вспомогательных органов управления.

Поскольку телевизор имеет достаточно сложную систему управления, то нередки случаи вызова техников для ремонта телевизора, когда в действительности требуется только правильная настройка при помощи внешних органов управления.

Аналогичная проверка телевизора требуется для определения неисправностей перед ремонтом и после выхода телевизора из ремонта.

Удовлетворительная проверка работы телевизора возможна при условии нормального напряжения питающей сети (в пределах от —10 до +5% от номинального напряжения, установленного сетевым переключателем телевизора). При значительных отклонениях напряжения электросети как проверку, так и эксплуатацию телевизора следует осуществлять с применением стабилизатора или автотрансформатора (см. гл. 8).

При первом включении телевизора, после ремонта, а также при проверке по вызову надо предварительно проверить установку сетевого переключателя и исправность предохранителей.

Фокусировка. Регулятор фокусировки должен обеспечивать возможность получения резко очерченных горизонтальных линий по всему экрану при нормальной яркости и контрастности изображения.

Для проверки ручку фокусировки поворачивают до тех пор, пока строки растра не станут отчетливо различимыми при наблюдении с близкого расстояния. В исправном телевизоре это соответствует некоторому среднему положению регулирующей ручки, по обе стороны от которого резкость строк будет уменьшаться.

Количественная оценка качества фокусировки устанавливается при помощи испытательной таблицы по горизонтальным клиньям в центре большого круга и по углам Б-2 и Д-7.

У горизонтальных клиньев в центре таблицы поставлены черточки, соответствующие цифрам 300, 400, 500 и 600, а у клиньев в углах таблицы обозначения количества линий в 300, 400, 500 и 600 заменены цифрами 3, 4, 5 и 6. В исправном телевизоре в горизонтальном клине в центре таблицы должны различаться 500—600 линий, а по углам таблицы 350—400 линий. Такое различие объясняется как качеством трубки, так и несовершен-

[1] В этом параграфе частично использован материал книги С. А. Ельяшкевича «Устранение неисправностей в телевизорах», Госэнергоиздат, 1957.

ством применяемых фокусирующих и отклоняющих систем.

Контрастность и яркость. Под контрастностью изображения понимается отношение яркостей двух наиболее разнящихся по яркости элементов изображения: яркости на наиболее черной и яркости на наиболее светлой его части. Чем больше контрастность, тем легче получить представление о степени различия яркостей отдельных частей передаваемого изображения (оттенков).

Регулировка яркости и контрастности всегда взаимно связаны: увеличивая контрастность, можно повышать

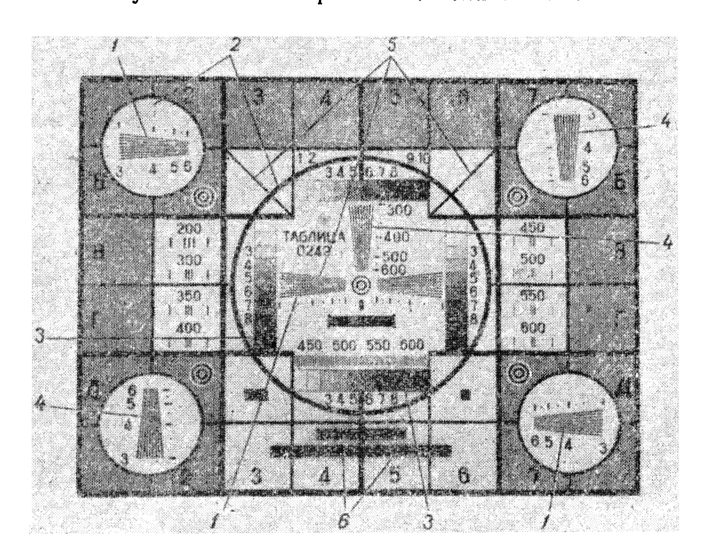


Рис. 14-16. Телевизионная испытательная таблица 0249.

Сноски указывают элементы таблицы, предназначенные для проверки фокусировки (*1*), линейности (*2*), контрастности и яркости (*3*), четкости (*4*), качества чересстрочной развертки (*5*) и частотных искажений (*6*).

и яркость; при малой контрастности изображение удается рассматривать лишь при пониженной яркости. В исправном телевизоре должна обеспечиваться возможность просмотра изображения при нормальном дневном освещении комнаты.

За исключением особых случаев (дальний прием и прием в непосредственной близости от телевизионного центра, а также в телевизорах, где имеется АРУ), регулировка контрастности должна позволять изменять изображение на экране от едва заметного до чрезмерно черного.

В свою очередь ручка регулировки яркости при нормальной контрастности изображения должна позволять плавно изменять яркость от полного затемнения экрана до яркости, при которой наблюдается расфокусировка светлых мест изображения.

Правильность установки ручек регулировки контрастности и яркости проверяется по двум горизонтальным и двум вертикальным полоскам, находящимся в центральном круге испытательной таблицы. Каждая такая полоска разделена на 10 равных частей постепенного перехода от белого к черному (10 градаций яркости). В исправно действующем телевизоре, когда в нем правильно выбраны контрастность и яркость, а также точно установлена фокусировка, должно различаться шесть—восемь градаций яркости.

Линейность, размер и центровка изображения. Под линейностью изображения понимают геометрически правильное распределение изображения по вертикали и горизонтали. Плохая линейность деформирует окружность и превращает квадраты таблицы в прямоугольники.

При нарушении линейности по вертикали окружность приобретает яйцеобразную форму в вертикальном направлении, а по горизонтали — в горизонтальном направлении.

В некоторых конструкциях телевизоров регулировку линейности и размера приходится производить одновременно, так как они связаны друг с другом.

В исправном телевизоре регулировки размера должны обеспечивать получение изображения, которое полностью заполняло бы экран. Возможность увеличения размера по горизонтали и по вертикали не должна превышать 10 *мм* в каждую сторону обрамляющей рамки. Это проверяется вращением ручек регулировки размера по горизонтали и по вертикали.

При регулировке размера изображения бывает так, что по мере его увеличения одна сторона кадра начинает уходить за рамку, а противоположная сторона еще не доходит до обреза рамки. Это свидетельствует о плохой центровке изображения. Для центрирования изображения относительно рамки служат ручки «центровка по горизонтали» и «центровка по вертикали».

Часто регулировки линейности, размера и центровки оказываются взаимосвязанными и их правильную установку приходится производить путем совместной регулировки сначала всех ручек, относящихся к системе развертки по строкам (по горизонтали), а затем по кадру (по вертикали).

Четкость. Под четкостью подразумевается то наибольшее число мелких деталей изображения, которое может быть воспроизведено на экране телевизора.

Так как изображение разбивается на строки, то принято различать четкость по горизонтали (вдоль строк) и четкость по вертикали (по кадру).

Четкость по горизонтали показывает, сколько вертикальных линий может быть воспроизведено вдоль строки. Чем тоньше каждая из этих линий, тем больше элементов укладывается вдоль каждой строки и тем лучше воспроизводятся мелкие детали изображения.

Перед тем как приступить к проверке четкости, необходимо установить оптимальную фокусировку и при помощи ручек регулировки яркости и контрастности добиться, чтобы отчетливо различалось не менее шести градаций яркости.

Разрешающая способность по горизонтали в центре изображения определяется по центральному клину испытательной таблицы. Черные и белые линии этого клина на определенном участке перестают быть различимыми по всей его ширине. Цифры, расположенные рядом с тем участком клина, на котором эти линии начинают сливаться, характеризуют величину разрешающей способности по горизонтали в центре экрана.

Разрешающая способность по горизонтали на краях экрана определяется по вертикальным клиньям, расположенным в правом верхнем и левом нижнем углах. Цифры 300, 400, 500 и 600 здесь заменены цифрами 3, 4, 5, 6.

Для телевизионных приемников первого класса число различимых линий в центре должно быть не менее 500, а по краям — не менее 400, для приемников второго класса число линий в центре — 450 и не менее 350 по краям и, наконец, для приемников третьего класса — 350 в центре и 300 по краям.

Причиной нечеткого изображения может быть плохая настройка гетеродина или расстройка колебательных контуров телевизионного приемника. Для подстройки гетеродина у большинства телевизоров имеется специальная ручка. Кроме того, в телевизорах последних моделей (например, «Темп-3», «Знамя-58») часто вводится специаль-

ная ручка для подстройки частотной характеристики видеоканала — «корректор четкости».

Синхронизация. Синхронизация определяет устойчивость изображения и может быть проверена путем следующих весьма простых испытаний.

1. При вращении ручки частоты кадров в обе стороны от положения, соответствующего устойчивому приему, изображение должно перемещаться вверх или вниз и легко устанавливаться на место.

2. Ручка частоты строк может быть повернута в каждую сторону приблизительно на 90°, прежде чем блокинг-генератор перестанет управляться синхронизирующими импульсами, и вместо изображения на экране появится большое число черных полосок, ничем не связанных друг с другом. При возвращении ручки в прежнее положение изображение мгновенно восстанавливается.

3. Устойчивая синхронизация должна обеспечиваться при некотором среднем положении ручек частоты строк и частоты кадров с запасом по вращению ручек в обе стороны.

4. Синхронизация не должна нарушаться при регулировке контрастности изображения в широких пределах.

Изображение на экране исправно действующего телевизора обычно устанавливается сразу после его включения без каких-либо дополнительных регулировок ручек частоты строк и частоты кадров.

Чересстрочная развертка. Существующая система разложения передаваемого изображения на 625 строк предусматривает последовательную передачу сначала всех четных (2, 4, 6 и т. д.), а затем нечетных (1, 3, 5 и т. д.) строк каждого кадра. Таким образом, изображение передается двумя раздельными полукадрами по 312,5 строк, причем каждая строка одного полукадра должна располагаться строго посредине между строками другого полукадра. Такая система передачи, устраняющая мелькание изображения, получила название чересстрочной развертки.

При нарушении чересстрочной развертки изменяется расстояние между строками первого и второго полукадра: оно становится попеременно то больше, то меньше, вплоть до спаривания строк. При этом количество строк, на которое разбивается изображение в вертикальном направлении, уменьшается вдвое и делается заметной его линейная структура. При изменении расстояния между строками на диагональных линиях в квадратах Б-3 и Б-6 испытательной таблицы возникают зубчатые выступы, и концы горизонтальных клиньев в центре таблицы начинают веерообразно изгибаться вверх и вниз.

Часто причиной нарушения чересстрочной развертки является не неисправность телевизора, а неточная установка ручек частоты кадров и регулировки контрастности.

«Тянучка» и «пластика». Для проверки того, [как пропускает телевизор нижние частоты сигналов изображения, служат черные полосы различной длины, расположенные в нижней части таблицы.

При хорошем пропускании нижних частот интенсивность полос остается одинаковой по всей их длине. Когда же чернота полос становится неодинаковой, а справа от них появляются серые хвосты («тянучка»), это свидетельствует о плохом пропускании нижних частот.

При чрезмерном усилении верхних частот изображение приобретает неестественно рельефный характер, и справа от черных линий появляется белая окантовка («пластика»).

Эти искажения могут быть следствием неправильной настройки гетеродина и корректора четкости.

Причиной недостаточной четкости и искажений типов «тянучка» и «пластика» бывает также несоответствие собственной длины волны приемной антенны или недостаточная ее широкополосность.

Неисправности телевизора, выявляемые при проверке приема испытательной таблицы. При проверке телевизора по приему испытательной таблицы можно обнаружить дефекты, не устраняемые регулировкой внешних органов управления и свидетельствующие о необходимости его ремонта.

Проникновение сигналов звукового сопровождения в видеоканал проявляется в виде горизонтальных полос, возникающих на фоне изображения в такт со звуком. Причиной этого эффекта является расстройка отсасывающего колебательного контура в видеоканале. Подстройку этого контура можно произвести без специальной измерительной аппаратуры непосредственно по пропаданию полос, связанных со звуковыми колебаниями. Однако предварительно надо самым тщательным образом настроить гетеродин ручкой «подстройка» по наилучшей четкости изображения.

Проникновение сигналов изображения в звуковой канал проявляется в виде рокота очень низкого тона и шумов, усиливающихся при увеличении контрастности изображения. Этот эффект связан с расстройкой колебательных контуров звукового канала и может быть устранен при применении специальных измерительных приборов.

Несовпадение настроек на звук и изображение. Проявляется в том, что при вращении ручки «подстройка» наибольшей громкости и чистоте звукового сопровождения сопутствует плохое изображение (контрастность и четкость недостаточны), а наилучшему качеству изображения сопутствует тихий или искаженный звук. Причина — в расстройке колебательных контуров. Устраняется в условиях мастерской.

Геометрические искажения не устраняемые регулировкой ручек «линейность», «размер» и «центровка», чаще всего бывают следствием неисправности отдельных ламп в схемах развертки и устраняются заменой соответствующих ламп (см. ниже).

Частотные искажения, не устраняемые регулировкой ручек «четкость» и «подстройка», могут быть следствием расстройки колебательных контуров, подстройку которых следует производить при помощи специальной аппаратуры.

Недостаточная контрастность изображения и малая громкость звука могут быть следствием неисправности некоторых колебательных контуров или ламп приемной части телевизора.

14-4. Обнаружение неисправностей в телевизионных приемниках

Общие принципы отыскания неисправностей. В основе грамотного подхода к отысканию неисправностей в телевизионных приемниках должен лежать тот же принцип систематического исследования неисправного прибора, который излагался в отношении радиовещательных приемников (гл. 10).

Прежде всего, следует внимательно осмотреть телевизор, не включая его, и обратить внимание на целость предохранителей, установку сетевого переключателя, на наличие признаков механических поломок, запаха гари и т. п.

При отсутствии видимых неисправностей надо включить телевизор и внимательно изучить внешние проявления неисправности и поведение телевизора при вращении различных органов управления. При этом, хорошо представляя блок-схему телевизора, очень часто можно безошибочно определить неисправный узел и даже характер неисправности, не вскрывая телевизора.

Определив неисправный узел, далее надо постараться отыскать неисправный каскад в этом узле и, наконец, — неисправную деталь каскада.

Наименее надежными в своей массе деталями телевизоров являются лампы, за счет которых возникает более половины всех неисправностей. Поэтому, определив неисправный узел или каскад, надо сразу же выяснить вопрос, не является ли причиной неисправности телевизора лампа.

И только после того, как появилась полная уверенность в исправности всех ламп, имеет смысл искать неисправность среди прочих деталей подозреваемого узла. При этом следует пользоваться изложенными в гл. 10 методами покаскадной проверки прохождения сигналов и измерения рабочего режима ламп. Разумеется, в приложении к телевизионным приемникам эти методы должны видоизменяться, в частности важнейшим контрольным прибором оказывается осциллограф, но принципиальная сторона вопроса от этого не изменяется.

Большую помощь при отыскании неисправной детали могут оказать карты напряжений и сопротивлений (см. рис. 2-24), обычно имеющиеся в инструкциях на промышленные образцы телевизоров.

Неисправности колебательных контуров в телевизорах определяются теми же методами, что и в радиовещательных приемниках, однако в этом вопросе значительно больше проявляется специфика телевизионной аппаратуры и в рамках настоящей книги мы не будем рассматривать методы проверки и настройки колебательных контуров телевизионных приемников.

Блок-схема телевизионного приемника. В наиболее общем виде блок-схема любого телевизионного приемника может быть представлена в виде рис. 14-17.

Воспринятые антенной *А* сигналы поступают на вход приемного устройства *ПУ*. Здесь происходит их усиление, детектирование и разделение на сигналы звука и изображения.

Сигналы звукового сопровождения направляются в громкоговоритель *Гр*, а сигналы изображения поступают в цепь управляющего электрода электронно-лучевой трубки *Т* для модуляции интенсивности электронного луча.

Кроме того, сигналы изображения поступают в блок синхронизации *БС*, где происходит выделение из них синхронизирующих импульсов, необходимых для синхронизации работы схем разверток по кадру и по строкам.

В блоке развертки *БР* генерируются токи пилообразной формы, служащие для отклонения электронного луча по вертикали (по кадру) и по горизонтали (по строкам). Эти токи с выхода блока разверток посылаются в соответствующие (кадровые — *КК* и строчные — *КС*) катушки отклонения.

В схеме генератора строчной развертки появляются импульсы весьма высокого напряжения (несколько киловольт). Эти импульсы выгодно использовать для получения высокого напряжения, необходимого для питания главного анода электронно-лучевой трубки. В связи с этим во всех отечественных телевизорах, кроме «Т-1 Москвич», высокое напряжение для трубки получают при помощи специального высоковольтного выпрямителя *ВВ*, питаемого от схем строчной развертки, как это показано на рис. 14-17.

Для питания всех ламп телевизионного приемника применяется обычный выпрямитель НВ, который мы будем называть низковольтным.

По структуре приемного устройства (*ПУ*) все отечественные телевизоры могут быть разделены на две группы: 1) с одноканальным приемом изображения и звука и 2) с разделением каналов изображения и звука.

Дело в том, что если не предотвращать прохождение сигналов передатчика звукового сопровождения через высокочастотную часть приемного устройства, то при детектировании сигналов передатчика изображений одновременно происходит преобразование несущей частоты сигналов звукового сопровождения наподобие того, как это имеет место в супергетеродинном приемнике. Колебания местного гетеродина в данном случае заменяет сигнал несущей частоты передатчика изображения и промежуточная частота для сигналов звукового сопровождения получается равной разности несущих частот передатчиков изображения и звука (6,5 *Мгц*). В связи с этим появляется возможность существенного упрощения части приемного устройства, предназначенной для усиления сигналов звукового сопровождения, ибо значительное

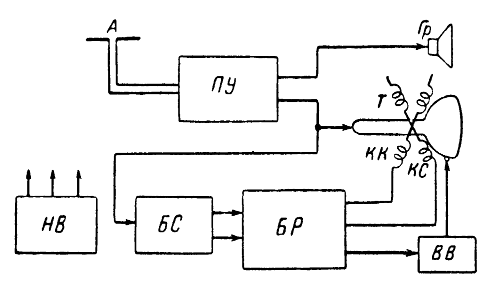


Рис. 14-17. Блок-схема телевизионного приемника.

ПУ — приемное устройство (переключатель программ, подстройка, контрастность); *Т* — узел электронно-лучевой трубки (яркость, фокусировка, центровка); *БС* — блок синхронизации; *БР* — блок развертки (частота кадров и строк, размер по вертикали и горизонтали, линейность); *НВ* — низковольтный выпрямитель; *ВВ* — высоковольтный выпрямитель.

усиление их и преобразование несущей частоты может быть осуществлено за счет каскадов приемника сигналов изображения.

Блок-схема приемного устройства, построенного таким методом, приведена на рис. 14-18. Эта схема, в которой блок приемника звукового сопровождения подключается к выходу блока приемника сигналов изображения, типична для основной массы современных телевизоров (иногда звуковой канал подключается не к выходу видеоусилителя, а детектору).

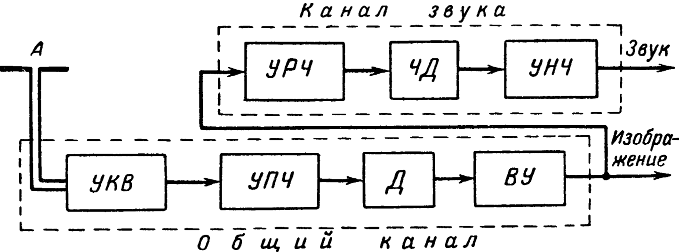


Рис. 14-18. Блок-схема приемного устройства с одноканальным усилением сигналов изображения и звука.

УКВ — ультракоротковолновый блок (усилитель высокой частоты, преобразователь); *УПЧ* — усилитель промежуточной частоты; *Д* — детектор; *ВУ* — видеоусилитель; *УРЧ* — усилитель разностной частоты; *ЧД* — частотный детектор; *УНЧ* — усилитель низкой частоты.

Приемник сигналов изображения во всех отечественных телевизорах, кроме КВН-49 выполнен по супергетеродинной схеме. В телевизорах разработки последних лет он начинается конструктивно самостоятельным УКВ узлом — переключателем телевизионных программ, за которым следует усилитель промежуточной частоты, детектор и видеоусилитель. УКВ узел включает в себя усилитель высокой частоты и преобразователь частоты. В старых телевизорах эта часть выполнялась на общем шасси с прочими каскадами приемника изображений.

Блок-схема приемного устройства телевизоров с разделением каналов изображения и звука представлена на рис. 14-19. По существу в этих телевизорах тоже есть общая для сигналов изображения и звука часть, но она ограничивается только каскадами УКВ, а вслед за общим преобразователем частоты каналы изображения и звука

разделяются и идут два независимых усилителя промежуточной частоты.

Для определения неисправного узла телевизора по внешним признакам надо также четко представлять к какому из блоков относится тот или иной орган управления. (См. подпись к рис. 14-17).

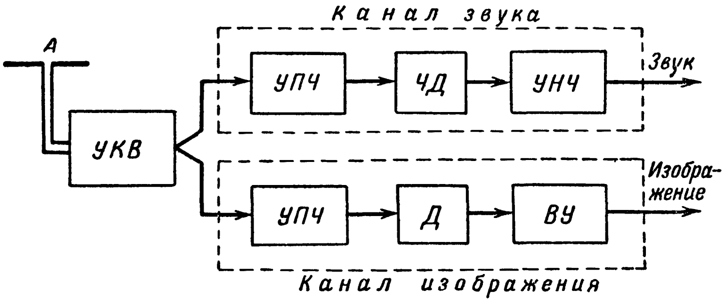


Рис. 14-19. Блок-схема приемного устройства с раздельными каналами изображения и звука.

УКВ — ультракоротковолновый блок (усилитель высокой частоты, преобразователь); *УПЧ* — усилитель промежуточной частоты; *ЧД* — частотный детектор; *УНЧ* — усилитель низкой частоты; *Д* — детектор, *ВУ* — видеоусилитель.

Определение неисправного узла[1]). Зная функции и взаимосвязь отдельных узлов телевизора, можно определить неисправный узел по таким внешним признакам, как, например, отсутствие растра при наличии звука, отсутствие изображения и звука при наличии растра и т. п.

Рассмотрим несколько примеров логического анализа внешних проявлений дефектов, позволяющих вынести заключение о неисправном узле телевизора.

Нет растра, есть звук. На рис. 14-20 показаны узлы телевизора, определяющие наличие растра (светящегося

Рис. 14-20. Узлы телевизора, определяющие наличие растра.

прямоугольника из горизонтальных строк на экране электронно-лучевой трубки).

Растр создается блоком развертки, в котором имеются каскады для отклонения луча по горизонтали (строчная развертка) и по вертикали (кадровая развертка). Горизонтальная развертка определяет ширину растра, а вертикальная — его высоту.

[1] Материал этого раздела частично заимствован из книги С. А. Ельяшкевича «Устранение неисправностей в телевизорах». Госэнергоиздат, 1957.

Наличие растра не связано с приходящим сигналом: растр должен быть и при отсутствии приема звука и изображения. Однако наличие звука служит показателем исправности низковольтного выпрямителя в тех схемах, где он питает блоки приемника и одновременно анодные цепи генераторов разверток.

Каскады вертикального и горизонтального отклонения луча не связаны друг с другом. Когда на экране вместо растра имеется лишь узкая горизонтальная полоса, это указывает на неисправность вертикальной развертки. При наличии же только одной вертикальной полосы неисправность следует искать в цепях, связанных с разверткой по горизонтали. Показанный на рис. 14-20, высоковольтный выпрямитель, преобразует импульсы, возникающие при обратном ходе луча горизонтальной развертки, в высокое напряжение, необходимое для питания анода электронно-лучевой трубки. Значит, при пропадании растра из-за отсутствия высокого напряжения на аноде трубки неисправность может быть как в цепях высоковольтного выпрямителя, так и в цепях развертки по горизонтали.

Кроме того растр может отсутствовать из-за неисправности самой трубки, цепей регулировки яркости и неправильной установки магнита ионной ловушки.

Есть растр, нет изображения и звука. При отсутствии звука и изображения неисправность следует искать в общих для них узлах. Такими узлами в схеме телевизоров с раздельными каналами по звуку и изображению являются высокочастотный блок и каскады УПЧ, через которые проходят оба сигнала. В схеме с общим каналом изображения и звука причиной неисправности могут быть, помимо высокочастотного блока, каскады УПЧ, видеодетектор и видеоусилитель.

Нет звука, изображение нормальное. На рис. 14-21 изображены узлы телевизора, связанные с приемом звука. Из приведенной схемы видно, что состав этих узлов не одинаков в телевизорах различных типов.

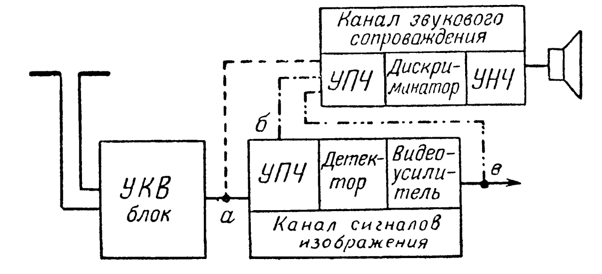


Рис. 14-21. Узлы телевизора, связанные с получением звука.

Так, в телевизорах с раздельными каналами звука и изображения в приеме звука (помимо звукового канала) участвует лишь высокочастотный блок, с выхода которого снимается промежуточная частота звука (штриховая линия на рис. 12-21).

При частично разделенных каналах промежуточная частота звука может сниматься после одного—двух общих каскадов УПЧ канала сигналов изображения (штрихпунктирная линия на рис. 14-21). В приемниках с общим каналом изображения и звука промежуточная частота звука в 6,5 *Мгц* снимается с выхода видеоусилителя (штриховая линия с двумя точками), а иногда после видеодетектора.

Поскольку данная неисправность характеризуется наличием изображения, можно предположить, что все

общие для сигналов изображения и звука каскады функционируют нормально, и причину отсутствия звука следует искать от точки ответвления промежуточной частоты звука до громкоговорителя.

Есть звук и изображение, но картинка все время перемещается по вертикали и остановить ее не удается. Наличие растра свидетельствует об исправности схем разверток, а наличие звука и изображения об исправности приемного устройства. Непрерывное перемещение картинки по вертикали свидетельствует о несоответствии частоты вертикальной развертки. Если при вращении ручки «частота кадров» не удается добиться устойчивого неподвижного положения кадра, то это свидетельствует об отсутствии синхронизации генератора вертикальной развертки, т. е. о неисправности в блоке синхронизации. Неисправность следует искать в той его части, которая относится только к синхронизации по кадру, ибо в случае неисправности общих элементов, определяющих также синхронизацию по строкам, отсутствовало бы упорядоченное расположение строк и изображение нельзя было бы наблюдать.

Отыскивание неисправных ламп. При поиске неисправных ламп надо стремиться прежде всего обнаружить тот узел телевизора, в котором может находиться неисправная лампа. Если внешних признаков, непосредственно указывающих на неисправный узел недостаточно, то следует строить поиск неисправной лампы методом исключения· искать внешние признаки, исключающие неисправность одного, другого, третьего узла и т. д., и, снимая таким образом подозрения с возможно большей части узлов, сосредоточивать внимание на тех узлах, в исправности которых нельзя быть уверенным.

Если, например, есть звук, то можно исключить неисправность кенотрона низковольтного выпрямителя. Наличие растра свидетельствует о работоспособности ламп генераторов разверток и высоковольтного выпрямителя. Если однако при этом имеются сильные нелинейные искажения по вертикали или вертикальный размер растра недостаточен и эти дефекты нельзя устранить внешними органами управления, то можно усомниться в полной доброкачественности ламп схемы вертикальной развертки.

Кроме того, помочь выяснению неисправной лампы может взаимная перестановка однотипных ламп, поскольку в любом телевизоре в некоторых каскадах различных узлов применяются однотипные лампы. Смысл этого метода состоит в том, чтобы опробовать подозреваемую лампу в таком узле телевизора, где ее исправность может быть однозначно оценена по ярким внешним признакам.

Например, при отсутствии каких-либо признаков приема сигналов изображения и звука можно брать под подозрение любую лампу общей для изображения и звука части приемного устройства. Если аналогичные лампы применены в других узлах телевизора, например, в схеме развертки, то путем взаимной перестановки сначала одной подозреваемой лампы, потом другой и т. д., по сохранению или потере работоспособности блока развертки можно легко определить неисправную лампу.

Ниже мы приведем наиболее типичные внешние признаки, позволяющие обнаружить неисправную лампу.

Отсутствует растр и звук, нити накала ламп накалены — неисправность кенотрона низковольтного выпрямителя.

Есть растр, а изображение и звук отсутствуют — неисправность ламп общей части канала изображения и звука приемного устройства.

Есть изображение, звука нет — неисправность ламп звукового канала приемного устройства.

Есть растр и звук, изображение отсутствует — неисправность ламп той части канала изображения, которая следует после точки отделения звукового канала.

Все изображение покрыто хаотически располагающимися светлыми и темными точками. Это явление может быть следствием увеличения уровня собственных шумов одной из ламп канала изображения приемного устройства (главным образом ламп первых двух каскадов).

Есть звук, растр отсутствует — неисправность ламп схемы горизонтальной развертки или высоковольтного кенотрона. Если при этом, вращая ручку «частота строк», удается услышать тихий свист, то можно снять подозрения по крайней мере с лампы блокинг-генератора строк.

Малая яркость свечения экрана (часто наряду с увеличенным размером изображения) — неисправность высоковольтного кенотрона.

Размер кадра по горизонтали мал — неисправность ламп схемы горизонтальной развертки.

Размер кадра по вертикали мал — неисправность выходной лампы вертикальной развертки.

Светится лишь одна горизонтальная строка — неисправность лампы блокинг-генератора или выходной лампы вертикальной развертки.

Изображение неустойчиво — неисправность ламп схемы синхронизации.

На изображении появляются в такт со звуком горизонтальные полосы — неисправность ламп общего канала и канала изображения приемного устройства.

Следует подчеркнуть, что приведенные выше внешние признаки дефектов могут быть вызваны и неисправностью других деталей, которые однако вероятнее всего относятся к тем каскадам, на лампы которых даны указания.

Некоторые типичные неисправности узла электронно-лучевой трубки. В соответствии с рис. 14-17 мы относим к узлу электронно-лучевой трубки, кроме самой трубки, отклоняющую систему, состоящую из двух пар отклоняющих катушек, устройство для центровки изображения на экране трубки, фокусирующую систему и устройство регулирования яркости. Кроме того в этот узел может входить магнит ионной ловушки (у трубок с системой, предотвращающей появление ионного пятна).

Типичные схемы включения электронно-лучевых трубок двух основных разновидностей (с магнитной и электростатической фокусировкой) приведены на рис. 14-22 и 14-23.

Прежде всего рассмотрим неисправности самой трубки, а затем связанных с ней элементов.

Потеря эмиссии катода электронно-лучевой трубки приводит к ухудшению качества фокусировки и снижению яркости или полному прекращению свечения экрана.

Ухудшение фокусировки может быть также вызвано появлением газа в колбе трубки (при этом внутри колбы обычно наблюдается фиолетовое свечение). К пропаданию растра приводит обрыв нити накала трубки.

Обрыв катода электронно-лучевой трубки часто вызывает появление темных неподвижных полос, закрывающих половину высоты растра, и потерю контрастности изображения.

Появление в средней части экрана темного пятна является следствием длительной бомбардировки люминофора ионами в трубках, не имеющих ионной ловушки.

Перечисленные дефекты электронно-лучевых трубок требуют замены трубки.

Затемнение углов растра бывает следствием неправильного расположения отклоняющих катушек. При таком дефекте катушки надо придвинуть к раструбу колбы трубки.

Следствием неправильной установки отклоняющих катушек может быть также наклон растра в ту или иную сторону. При этом надо на соответствующий угол повернуть отклоняющую систему вокруг горловины трубки.

Малая яркость, частичное затемнение растра, плохая фокусировка и неравномерная контрастность изображения могут быть следствием неправильной установки магнита ионной ловушки (*КМ* на рис. 14-22 и 14-23).

Обычно трубки, снабжаемые корректирующим магнитом ионной ловушки, одновременно снабжаются постоян-

ным магнитом для центровки изображения (*ЦМ* на рис. 14-23). При этом корректирующий магнит размещается ближе к цоколю трубки, а центрирующий — возле отклоняющей системы. Регулировка корректирующего магнита состоит в перемещении его вдоль горловины при одновременном поворачивании вокруг горловины. Найдя положение максимальной яркости и равномерности свечения экрана, надо сразу же уточнить положение центрирующего растр магнита. После этого вновь добиваются максимальной яркости перемещением корректирующего магнита и т. д. до получения наилучших результатов.

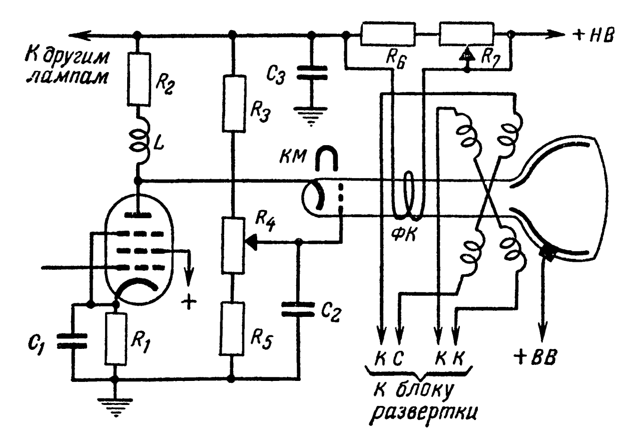


Рис. 14-22. Схема включения трубки с магнитной фокусировкой.

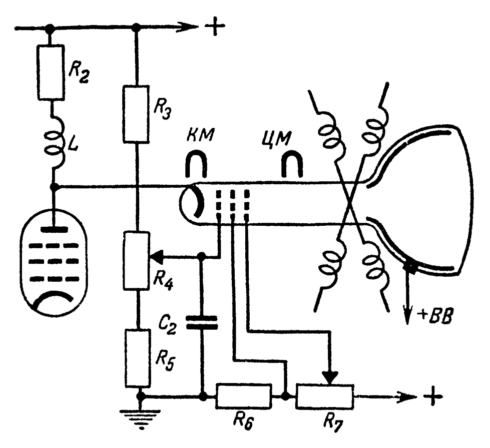


Рис. 14-23. Схема включения трубки с электростатической фокусировкой.

Следует помнить, что имеются два положения корректирующего магнита ионной ловушки, обеспечивающих максимальную яркость. Правильным является то из этих двух положений, в котором магнит оказывается ближе к цоколю трубки. При установке магнита в другое положение, сильно сокращается срок службы трубки, так как такой режим связан с большим током луча.

Регулировку корректирующего магнита целесообразно производить при приеме испытательной таблицы, так как при этом легче добиться наилучшей фокусировки и проверить контрастность изображения в различных участках растра.

Фокусировка луча в одних трубках осуществляется магнитным полем специальной фокусирующей катушки, располагаемой вместе с отклоняющими катушками на горловине (*ФК* на рис. 14-22), а в других — при помощи специальных фокусирующих электродов, расположенных внутри трубки (изображенных на рис. 14-23 в виде двух дополнительных сеток). В первом случае наилучшая фокусировка достигается регулировкой при помощи реостата R_7 постоянного тока в фокусирующей катушке, во втором — регулировкой при помощи потенциометра R_7 напряжения одного из электродов, находящихся под положительным относительно катода трубки потенциалом.

Невозможность добиться хорошей фокусировки луча при помощи предусмотренного органа регулировки в обоих случаях чаще всего бывает вызвана неисправностью соответствующего реостата или потенциометра.

В некоторых моделях телевизоров с большим экраном при электростатической фокусировке не предусматривают никаких органов регулировки потенциала фокусирующего электрода, обеспечивая соответствующим подбором режима питания трубки устойчивую фокусировку, не требующую подстройки в процессе эксплуатации телевизора. Если в таком телевизоре качество фокусировки ухудшается, то обычно его можно восстановить регулировкой корректирующего магнита ионной ловушки.

Необходимость существенного улучшения фокусировки может возникнуть при смене электронно-лучевой трубки. В этом случае, если регулятор фокусировки отсутствует, необходимо вновь установить оптимальное напряжение фокусирующего электрода подбором сопротивлений делителя напряжения (в некоторых телевизорах, например, «Знамя», заранее предусмотрены три точки с напряжением относительно шасси +560 *в*, +240 *в* и 0 *в*, к одной из которых можно присоединять фокусирующий электрод).

Яркость изображения регулируется изменением постоянного напряжения смещения на управляющем электроде электронно-лучевой трубки (на рис. 14-22 и 14-23 потенциометром R_4), что позволяет изменять ток луча и соответственно яркость свечения люминофора.

При неисправности предназначенного для этой цели потенциометра или обрыве в одном или другом плече делителя может произойти либо запирание луча, что приведет к пропаданию свечения экрана, либо резкое увеличение тока луча, что приведет к непомерно высокой яркости свечения экрана.

Во многих телевизорах сигнал с анода выходной лампы видеоусилителя подается на катод или управляющий электрод электронно-лучевой трубки без разделительного конденсатора, как это показано на рис. 14-22. Тогда нарушение нормального режима смещения на управляющем электроде трубки может также произойти из-за неисправности в выходном каскаде видеоусилителя, приводящей к значительному изменению анодного тока лампы, ибо следствием такого дефекта будет изменение падения постоянного напряжения на сопротивлении анодной нагрузки выходной лампы, а значит и изменение постоянного напряжения на электроде трубки, соединенном с анодом этой лампы.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Латинский и греческий алфавиты

Латинский

A, a (а)
B, d (бэ)
C, c (цэ)
D, d (дэ)
E, e (е)
F, f (эф)
G, g (гэ, же)
H, h (аш)
I, i (и)
J, j (йот, жи)
K, k (ка)
L, l (эль)
M, m (эм)
N, n (эн)
O, o (о)
P, p (пэ)
Q, q (ку)
R, r (эр)
S, s (эс)
T, t (тэ)
U, u (у)
V, v (вэ)
W, w (дубль-вэ)
X, x (икс)
Y, y (игрек)
Z, z (зэт)

Греческий

A, α (альфа)
B, β (бэта)
Γ, γ (гамма)
Δ, δ (дельта)
E, ε (эпсилон)
Z, ζ (дзета)
H, η (эта)
Θ, θ, ϑ (тэта)
I, ι (иота)
K, ϰ (каппа)
Λ, λ (лямбда)
M, μ (мю)
N, ν (ню)
Ξ, ξ (кси)
O, o (омикрон)
Π, π (пи)
P, ϱ (ро)
Σ, σ (сигма)
T, τ (тау)
ϒ, υ (ипсилон)
Φ, φ (фи)
X, χ (хи)
Ψ, ψ (пси)
Ω, ω (омега)

2. Таблица элементарных алгебраических функций

n	$\frac{1}{n}$	n^2	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10n}$	n^3	n	$\frac{1}{n}$	n^2	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10n}$	n^3
1,0	1,00	1,00	1,00	3,16	1,00	3,5	0,286	12,25	1,87	5,92	42,9
1,1	0,909	1,21	1,05	3,32	1,33	3,6	0,278	13,0	1,90	6,00	46,7
1,2	0,833	1,44	1,10	3,46	1,73	3,7	0,270	13,7	1,92	6,08	50,6
1,3	0,769	1,69	1,14	3,61	2,20	3,8	0,263	14,4	1,95	6,16	54,9
1,4	0,714	1,96	1,18	3,74	2,74	3,9	0,256	15,2	1,98	6,24	59,3
1,5	0,667	2,25	1,22	3,87	3,38	4,0	0,250	16,0	2,00	6,32	64,0
1,6	0,625	2,56	1,26	4,00	4,10	4,1	0,244	16,8	2,02	6,40	68,9
1,7	0,588	2,89	1,30	4,12	4,91	4,2	0,238	17,6	2,05	6,48	74,1
1,8	0,556	3,24	1,34	4,24	5,83	4,3	0,233	18,5	2,07	6,56	79,5
1,9	0,526	3,61	1,38	4,36	6,86	4,4	0,227	19,4	2,10	6,63	85,2
2,0	0,500	4,00	1,41	4,47	8,00	4,5	0,222	20,25	2,12	6,71	91,1
2,1	0,476	4,41	1,45	4,58	9,26	4,6	0,217	21,2	2,14	6,78	97,3
2,2	0,454	4,84	1,48	4,69	10,6	4,7	0,213	22,1	2,17	6,86	104
2,3	0,435	5,29	1,52	4,80	12,2	4,8	0,208	23,0	2,19	6,93	111
2,4	0,417	5,76	1,55	4,90	13,8	4,9	0,204	24,0	2,21	7,00	118
2,5	0,400	6,25	1,58	5,00	15,6	5,0	0,200	25,0	2,24	7,07	125
2,6	0,385	6,76	1,61	5,10	17,6	5,1	0,196	26,0	2,26	7,14	133
2,7	0,370	7,29	1,64	5,20	19,7	5,2	0,192	27,0	2,28	7,21	141
2,8	0,357	7,84	1,67	5,29	22,0	5,3	0,189	28,1	2,30	7,28	149
2,9	0,345	8,41	1,70	5,38	24,4	5,4	0,185	29,2	2,32	7,35	158
3,0	0,333	9,00	1,73	5,48	27,0	5,5	0,182	30,25	2,34	7,42	166
3,1	0,323	9,61	1,76	5,57	29,8	5,6	0,179	31,4	2,37	7,48	176
3,2	0,312	10,2	1,79	5,66	32,8	5,7	0,175	32,5	2,39	7,55	185
3,3	0,303	10,9	1,82	5,75	35,9	5,8	0,172	33,6	2,41	7,62	195
3,4	0,294	11,6	1,84	5,83	39,3	5,9	0,170	34,8	2,43	7,68	205

Продолжение

n	$\frac{1}{n}$	n^2	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10n}$	n^3
6,0	0,167	36,0	2,45	7,75	216
6,1	0,164	37,2	2,47	7,81	227
6,2	0,161	38,4	2,49	7,87	238
6,3	0,159	39,7	2,51	7,94	250
6,4	0,156	41,0	2,53	8,00	262
6,5	0,154	42,25	2,55	8,06	275
6,6	0,152	43,0	2,57	8,12	288
6,7	0,149	44,9	2,59	8,18	301
6,8	0,147	46,2	2,61	8,25	314
6,9	0,145	47,6	2,63	8,31	328
7,0	0,143	49,0	2,65	8,37	343
7,1	0,141	50,4	2,66	8,43	358
7,2	0,139	51,8	2,68	8,48	373
7,3	0,137	53,3	2,70	8,54	389
7,4	0,135	54,8	2,72	8,60	405
7,5	0,133	56,25	2,74	8,66	422
7,6	0,132	57,8	2,76	8,72	439
7,7	0,130	59,3	2,78	8,78	456
7,8	0,128	60,8	2,79	8,83	475
7,9	0,127	62,4	2,81	8,89	493
8,0	0,125	64,0	2,83	8,94	512

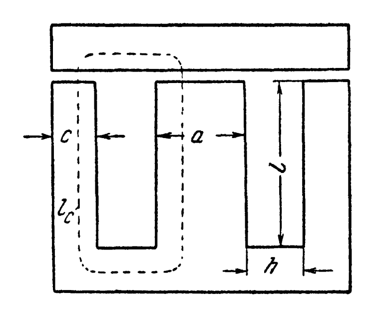
n	$\frac{1}{n}$	n^2	$\sqrt{n}$	$\sqrt{10n}$	n^3
8,1	0,124	65,6	2,85	9,00	531
8,2	0,122	67,2	2,86	9,06	551
8,3	0,120	68,9	2,88	9,11	572
8,4	0,119	70,6	2,90	9,16	593
8,5	0,118	72,25	2,92	9,22	614
8,6	0,116	74,0	2,93	9,27	636
8,7	0,115	75,7	2,95	9,33	658
8,8	0,114	77,4	2,97	9,38	682
8,9	0,112	79,2	2,98	9,43	705
9,0	0,111	81,0	3,00	9,49	729
9,1	0,110	82,8	3,02	9,54	754
9,2	0,109	84,6	3,03	9,59	779
9,3	0,108	86,5	3,05	9,64	804
9,4	0,106	88,4	3,07	9,70	831
9,5	0,105	90,25	3,08	9,75	857
9,6	0,104	92,2	3,10	9,80	885
9,7	0,103	94,1	3,11	9,85	913
9,8	0,102	96,0	3,13	9,90	941
9,9	0,101	98,0	3,15	9,95	970
10,0	0,100	100,0	3,16	10,00	1000
$\times 10^{m}$	$\times 10^{-m}$	$\times 10^{2m}$	$\times 10^{\frac{m}{2}}$	$\times 10^{\frac{m-1}{2}}$	$\times 10^{3m}$

3. Таблица тригонометрических функций

α	sin α	cos α	tg α	ctg α	
0	0,000	1,000	0,000	∞	90
1	0,018	1,000	0,018	57,3	89
2	0,035	0,999	0,035	28,6	88
3	0,052	0,999	0,052	19,1	87
4	0,070	0,998	0,070	14,3	86
5	0,087	0,996	0,088	11,4	85
6	0,104	0,994	0,105	9,51	84
7	0,122	0,992	0,123	8,14	83
8	0,139	0,990	0,140	7,12	82
9	0,156	0,988	0,158	6,31	81
10	0,174	0,985	0,176	5,67	80
11	0,191	0,982	0,194	5,14	79
12	0,208	0,978	0,213	4,70	78
13	0,225	0,974	0,231	4,33	77
14	0,242	0,970	0,249	4,01	76
15	0,259	0,966	0,268	3,73	75
16	0,276	0,961	0,287	3,49	74
17	0,292	0,956	0,306	3,27	73
18	0,309	0,951	0,325	3,08	72
19	0,326	0,946	0,344	2,90	71
20	0,342	0,940	0,364	2,75	70
21	0,358	0,934	0,384	2,60	69
22	0,375	0,927	0,404	2,48	68
23	0,391	0,920	0,424	2,36	67
24	0,407	0,913	0,445	2,25	66

α	sin α	cos α	tg α	ctg α	
25	0,423	0,906	0,466	2,15	65
26	0,438	0,899	0,488	2,05	64
27	0,454	0,891	0,510	1,96	63
28	0,470	0,883	0,532	1,88	62
29	0,485	0,875	0,554	1,80	61
30	0,500	0,866	0,577	1,73	60
31	0,515	0,857	0,601	1,66	59
32	0,530	0,848	0,625	1,60	58
33	0,545	0,839	0,649	1,54	57
34	0,559	0,829	0,674	1,48	56
35	0,574	0,819	0,700	1,43	55
36	0,588	0,809	0,726	1,38	54
37	0,602	0,799	0,754	1,33	53
38	0,616	0,788	0,781	1,28	52
39	0,629	0,777	0,810	1,24	51
40	0,643	0,766	0,839	1,19	50
41	0,656	0,755	0.869	1,15	49
42	0,669	0,743	0,900	1,11	48
43	0,682	0,731	0,932	1,07	47
44	0,695	0,719	0,966	1,04	46
45	0,707	0,707	1,000	1,00	45
	cos α	sin α	ctg α	tg α	α°

4. Стандартные Ш-образные трансформаторные пластины



Тип пластин	a, см	c, см	h, см	l, см	$S_о^*$, см²	$l_с$, см	в **, см
Ш-10	1,0	0,65	0,65	1,8	1,77	5,7	6,8
Ш-12	1,2	0,8	0,8	2,2	1,76	6,7	8,2
Ш-14	1,4	0,9	0,9	2,5	2,35	7,9	9,6
Ш-16	1,6	1,0	1,0	2,8	2,8	9,0	11,0
Ш-19	1,9	1,2	1,2	3,35	4,0	10,6	13,0
Ш-20	2,0	1,0	2,0	5,0	10,0	17,1	14,0
Ш-25	2,5	1,25	2,5	6,25	15,6	21,4	20,0
Ш-30	3,0	1,0	1,9	5,3	10,0	16,9	21,0
Ш-32	3,2	1,6	3,2	8,0	25,6	27,4	25,4
Ш-35	3,5	2,2	2,2	6,15	13,5	19,8	24,0
Ш-40	4,0	2,2	3,0	7,0	21,0	28,0	26,0

* $S_о$ — площадь окна,
** $l_в$ — средняя длина одного витка обмотки при толщине пакета $b = 1,5\ a$.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

О

П

Р

С

1р. 47к.